

Mitteilungen der
Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau
Band 13

Energetische Nutzung von Grünlandaufwüchsen

56. Jahrestagung der AGGF
vom 30. August - 1. September
in Witzenhausen

M. Wachendorf und G. Riehl (Hrsg.)



AGGF 2012

Energetische Nutzung von Grünlandaufwüchsen

Mitteilung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau Band 13

Referate und Poster der 56. Jahrestagung
der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau
in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften
2012 in Witzenhausen

Herausgeber: M. Wachendorf und G. Riehl

Redaktionsschluss: Juli 2012

Druck: Feldmann Druck, Witzenhausen

ISBN: 978-3-00-038005-1

Vorwort

Auf Einladung des Fachgebiets „Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe“ am Fachbereich „Ökologische Agrarwissenschaften“ der Universität Kassel fand die 56. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland- und Futterbau (AGGF) der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. vom 30. August bis 1. September 2012 erstmalig in Witzenhausen statt.

Mit dem diesjährigen Schwerpunktthema „Energetische Verwertung von Grünlandaufwüchsen“ widmete sich die Tagung der zunehmenden Relevanz des Grünlandes für eine energetische Nutzung im Spannungsfeld zwischen intensiver und extensiver Nutzung. Die damit verbundenen Interaktionen der Wandlungsverfahren mit Qualitätskriterien, Biodiversitätsaspekten, Stoffströmen und Emissionen wurden anhand von Vorträgen, Postern und Exkursionen vorgestellt und diskutiert.

Mit Beiträgen zu bioenergetischen Verwertungsoptionen von Grünlandaufwüchsen unter Einbindung regionsspezifischer Anpassungsoptionen und ökonomischer Bewertung wurde im Rahmen von Plenarvorträgen in den Themenschwerpunkt der Tagung eingeführt. Zahlreiche Kurzvorträge beleuchteten weitere Aspekte von Biomassebereitstellung, Wandlungsverfahren, Effizienz, Bilanzierung und Ökonomie. Zusätzlich wurden aktuelle Fragen und Erkenntnisse zur Produktivität, Futterqualität und Bestandeszusammensetzung in Abhängigkeit von Standort und Management vorgestellt und diskutiert. In einer Postersektion erfolgte zudem die Präsentation weiterer aktueller Ergebnisse aus Studien der Grünland- und Futterbauforschung in den Kategorien:

- Energetische Nutzung
- Futterqualität und Bestand
- Weide
- Freie Themen

Insgesamt wurden über 40 wissenschaftliche Beiträge präsentiert. Die Kurzfassungen der Vorträge und Poster sind in diesem Band enthalten. Die vorliegende Schrift stellt mit ihren vielfältigen Beiträgen somit eine gute Übersicht über die aktuelle Forschungstätigkeit im Bereich der Futterbau- und Grünlandwirtschaft dar.

Im Rahmen einer halbtägigen Studienfahrt wurden Versuchsarbeiten des veranstaltenden Fachgebietes zum bioenergetischen Wandlungsverfahren IFBB (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasbereitstellung aus Biomasse) im Projekt ProGrass, der sensorischen Erfassung von Grünlandbeständen mit Ultraschall und Feldspektroskopie und der Untersuchung von Effekten im alternierenden Streifenanbau von Grünland in Kurzumtriebsplantagen des Agroforstprojektes BEST vorgestellt. Eine ganztägige Exkursion in den Vogelsberg gab Einblick in aktuelle Fragen der Grünlandbewirtschaftung für Futter- und Energieproduktion in einer Mittelgebirgsregion.

Die Organisation und Durchführung der Tagung wäre ohne die vielfältig zuteil gewordene Hilfe nicht möglich gewesen. Allen Beteiligten im Organisationsteam sei daher besonders herzlich gedankt.

Prof. Dr. Michael Wachendorf

Leiter des Fachgebiets Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe der Universität Kassel

Dr. Gerhard Riehl

Leiter der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau

Einleitende Vorträge

Das Fachgebiet „Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe“ stellt sich vor	1
<i>Prof. Dr. Michael Wachendorf</i>	
Ökonomie der Biogaserzeugung von Grünlandaufwüchsen	7
<i>Ulrich Keymer</i>	
Biogasproduktion von Grünland- und Futterbauflächen in Norddeutschland	15
<i>A. Herrmann, E. Techow, F. Taube</i>	

Kurzvorträge

Sektion: Energetische Nutzung

Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung	25
<i>Florian Schmidt, Dr. Katja Gödeke, Dr. Hans Hochberg</i>	
Einfluss der natürlichen Variabilität und zweier Qualitätsoptimierungsstrategien auf die Verbrennungseignung von Extensivgrünland-Aufwüchsen	30
<i>B. Tonn, U. Thumm, W. Claupein</i>	
Methanertragspotenzial von Grünlandbeständen bei unterschiedlicher Intensität der Schnittnutzung	35
<i>K. Schmalzer, G. Barthelmes</i>	
Spezifische Nutzungsintensität von Dauergrünland zur Biogasnutzung	40
<i>Messner, J., Nussbaum, H. und Elsaesser, M.</i>	
Energie- und Emissionsbilanz verschiedener Bewirtschaftungsformen des Extensivgrünlands	45
<i>L. Bühle, F. Hensgen, I. Donnison, K. Heinsoo, M. Wachendorf</i>	
Ökonomische Bewertung verschiedener Landnutzungssysteme des Extensivgrünlands	51
<i>B. Blumenstein, L. Bühle, M. Wachendorf, D. Möller</i>	
Energieeffizienz der Biogasproduktion in den drei Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins	57
<i>S. Claus, B. Wienforth, A. Techow, R. Quackernack, A. Pacholski, F. Taube, K. Sieling, H. Kage, A. Herrmann</i>	

Sektion: Futterqualität und Pflanzenbestand

- Wirkung organischer Dünger auf botanische Zusammensetzung und Ertrag von Grünlandpflanzenbeständen eines Flussauenstandorten** 62

H. Alaid, H. Giebelhausen, H. Hochberg und Lehmann J.

- Produktivität und Futterqualität von bewirtschaftetem naturnahen Grünland unterschiedlicher Phytodiversität** 67

Tatiana From, Johannes Isselstein

- Produktivität und Futterqualität von Dauergrünland bei veränderter Artenzusammensetzung unter Beweidung mit Schafen und/oder Rindern** 72

J.S. Jerrentrup, J. Isselstein

Posterbeiträge

Sektion: Energetische Nutzung

- Einfluss der Grasart auf die N-Effizienz von Gärresten** 77

Meike Andruschkewitsch, Christine Wachendorf, Michael Wachendorf

- Wirkung von Gärresten auf den TM-Ertrag und die N-Aufnahme von *Lolium perenne*** 80

Meike Andruschkewitsch, Christine Wachendorf, Michael Wachendorf

- Prüfung von Energiepflanzenanbausystemen zur Biogaserzeugung an sieben Standorten in Deutschland** 84

R. Graß, R. Stülpnagel, M. Wachendorf

- Untersuchungen zum Bioenergiepotential auf drei Golfplätzen in Südwestdeutschland** 89

Henle, W., A. Hanisch, J. Kaniecki, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein

- Chemische und botanische Determinanten der Mineralstoffgehalte in Brennstoffen von extensiv genutztem Grünland in Europa** 94

F. Hensgen, L. Bühle, I. Donnison, K. Heinsoo, M. Wachendorf

- Kann die spezifische Methanausbeute durch Kofermentation pflanzlicher Substrate gesteigert werden?** 99

L. Jahn, S. Ohl, M. Hasler, A. Techow, R. Quakernack, A. Pacholski, E. Hartung, H. Kage, F. Taube, A. Herrmann

- Futterwert und Gasbildungspotential von Brachemischungen** 103

Dr. agr. Christine Kalzendorf

- Vergleichende Untersuchung alternativer Verfahrensketten für die Einwerbung und Vergärung von Grünlandaufwüchsen** 109

U. Keymer, M. Effenberger, S. Thurner, J. Ostertag, M. Strobl, J. Winkler, R. Kissel, F. Ebertseder und P. Scheiber

Inhaltsverzeichnis

Anaerobe Fermentation von Grünlandbiomasse: Einfluss der botanischen Diversität auf Qualitätsparameter und die potentielle Methanausbeute	114
<i>J. Khalsa, T. Fricke, A. Weigelt, M. Wachendorf</i>	
Verbrennung von Grünlandbiomasse: Einfluss der botanischen Diversität auf Mineral- und Stickstoffgehalte und damit auf Korrosions- und Emissionsrisiken	119
<i>J. Khalsa, T. Fricke, W. W. Weisser, A. Weigelt, M. Wachendorf</i>	
Energie- und Emissionsbilanz von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung	124
<i>Lars Klingebiel, Reinhold Stülpnagel, Lutz Bühle, Rüdiger Graß, Michael Wachendorf</i>	
Eignung von Grünlandaufwüchsen mit dem Bestandesbildner Equisetum palustre L. für Verfahren der Biomethanisierung	129
<i>J. Müller, D. Wiedow, C. Jantzen und L. Dittmann</i>	
Methane yield - a new DLG-test scheme for silage additives	133
<i>Hansjoerg Nussbaum, Walter Staudacher</i>	
Einfluss der Biodiversität auf die in Batchversuchen ermittelten Methanausbeuten von Silagen extensiver Grünlandgesellschaften	136
<i>B. Reddersen, T. Fricke, M. Wachendorf</i>	
Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die Biogasproduktion	140
<i>Florian Schmidt, Dr. Katja Gödeke, Dr. Hans Hochberg</i>	
Modellierung der Biomasseproduktion von Extensivgrünland mit dem Simulationsmodell FOPROQ zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels	145
<i>B. Thies, C. Kluß, A. Herrmann und M. Wachendorf</i>	
Anbau und bioenergetische Verwertung von Extensivgrünland in Überschwemmungsgebieten von Fließgewässern	149
<i>B. Thies, F. Richter, M. Labriola und M. Wachendorf</i>	
Etablierung von Switchgrass in Dauergrünland	153
<i>U. Thumm, L. Fenn, I. Lewandowski</i>	
Sektion: Futterqualität und Pflanzenbestand	
Versuchsergebnisse zur Wirkung von Rapspressschrot (RPS) auf Ertrag und Futterqualität bei Grünland	158
<i>M. Diepolder, S. Raschbacher</i>	
Zum Potential alternativer Futterpflanzen (Wiesenkräuter und Leguminosen) hinsichtlich des Proteinbindungsvermögens sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe	163
<i>M. Hamacher, R. Loges und F. Taube</i>	
Einfluss des Schnittzeitpunktes auf Ertrag und Qualität von Futtergräsern	168
<i>A. Swieter, B. Ohnmacht, S. Moenickes und J.-M. Greef</i>	

Inhaltsverzeichnis

Sektion: Weide

Auswirkungen von Mahd oder Beweidung mit Schafen, Schweinen, Pferden oder Rindern auf die botanische Diversität von Dauergrünland 173

I. Leuschner, N. Wrage, J. Isselstein

Die Kohlenstoff-Verweildauer der oberirdischen Biomasse einer intensiven Weide ist durch die Blattlebensdauer der dominanten Arten bestimmt 177

I. Schleip, F. Lattanzi, H. Schnyder

Effekte des Managements auf die Vegetationsstruktur von Pferdeweiden 182

Schmitz, Anja und Isselstein, Johannes

Effekte von Grasnarbenzusammensetzung und Weidetierart auf Futterqualität und – Produktivität 188

M. Seither, N. Wrage, J. Isselstein

Einfluss der Beweidungsintensität auf die kleinräumige Heterogenität der Nährstoffzufuhr in Kot und Harn der Weidetiere 193

B. Tonn, N. Wrage, J. Isselstein

Sektion: Freie Themen

Regeneration nach Trockenstress und morphologische Anpassung an Wassermangel bei fünf Arten von Futtergräsern 198

L. Breitsameter, N. Wrage, J. Isselstein

Grünlandverbesserung als Möglichkeit zur Steigerung der N-Effizienz 204

Elsaesser, M.

Effekte von Bewirtschaftungsintensität und Artkomposition auf Struktur und Lichtnutzung im Grünland 208

U. Petersen, J. Isselstein

Mehrjähriger Anbau von Triarrhena in Lysimetern und Ergebnisse zu Wasser- und Stoffbilanzen 213

Gisbert Schalitz und Axel Behrendt

Das Fachgebiet „Grünlandwissenschaft und Nachhaltende Rohstoffe“ stellt sich vor

Prof. Dr. Michael Wachendorf

FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
UNIVERSITÄT KASSEL

1. Überblick

Seit seiner Neugründung im Jahre 2005 verantwortet das Witzenhäuser Fachgebiet Forschung und Lehre in den Bereichen Grünlandwissenschaft und Nachhaltende Rohstoffe. Es ist in der Lehre in die Bachelor- und Masterprogramme des Fachbereiches Ökologische Agrarwissenschaften eingebunden, wirkt aber auch im Kasseler MSc-Programm „Regenerative Energien und Energieeffizienz (RE²)“ und im MSc-Studiengang „Sustainable International Agriculture“, der von den Universitäten Göttingen und Kassel gemeinsam angeboten wird.

Neben seiner spezifischen, disziplinären Forschungsarbeit trägt das Fachgebiet zu übergeordneten Themenstellungen innerhalb trans- und interdisziplinärer Forschungsverbünde bei:

- Securing the conservation of NATURA grassland habitats with a distributed bioenergy production (www.prograss.eu)
- Exploring mechanisms underlying the relationship between biodiversity and ecosystem functioning (www.the-jena-experiment.de)
- Klimawandel zukunftsfähig gestalten. Klimaanpassungsnetzwerk für die Modellregion Nordhessen (www.klimzug-norhessen.de)
- Bioenergie-Regionen stärken (<http://best-forschung.uni-goettingen.de>)
- Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (<http://www.eva-verbund.de/home.html>).

Das Fachgebiet ist über den Fachbereich hinaus organisatorisch eingebunden in das

- International Center for Development and Decent Work (www.uni-kassel.de/einrichtungen/icdd/home.html)
- Competence Centre for Climate Change Mitigation and Adaptation (CliMA) (www.uni-kassel.de/uni/umwelt/clima.html)
- European Institute of Innovation and Technology (<http://eit.europa.eu>).

Inhaltliche Schwerpunkte der Forschungsarbeit des Fachgebietes liegen auf den Gebieten

- der störungsfreien, sensorischen Messverfahren in der Futterproduktion
- umweltgerechter Anbausysteme von Energiepflanzen
- der energetischen Verwertung von Material des Extensivgrünlands und der Landschaftspflege,

die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen.

2. Störungsfreie, sensorische Messverfahren in der Futterproduktion

Für ein optimiertes Management im Grünland sind weitreichende Informationen über den Zustand des Aufwuchses sowie seine Entwicklung während der Vegetationsperiode unerlässlich. Darunter fallen unter anderem Kenntnisse über den aktuellen Trockenmasseertrag, die Futterqualität und die Bestandeszusammensetzung. Von einer Vielzahl technischer Verfahren zur Erfassung von Pflanzenbeständen werden im Fachgebiet die Spektroskopie (Ertrag, Futterqualität), die Ultraschalldistanzmessung (Bestandeshöhe, Ertrag) und die Bildanalyse (Leguminosenanteil) seit einigen Jahren experimentell auf ihre Eignung in Leguminosengras-Gemengen untersucht. Biewer et al. (2009a, 2009b) erreichten mit hyperspektralen Signaturen mittlere bis sehr hohe Schätzgüten insbesondere bei leguminosenspezifischen Gemengen für Ertrag ($R^2=0.74-0.95$), ME ($R^2=0.62-0.70$), RP ($R^2=0.83-0.9$) und ADF ($R^2=0.59-0.75$) statisch unter Feldbedingungen gemessen. Mit einem technisch weniger aufwändigen Ultraschallsensor konnten über die Messung von Bestandeshöhen Erträge je nach Leguminosenart in Güten von $R^2=0.75-0.86$ in binären Leguminosengras-Gemengen geschätzt werden. Verbunden mit dem Leguminosenanteil kann über den Leguminosenertrag das Potential der N-Fixierleistung ermittelt werden. Hierfür ist die Erfassung von Leguminosenanteilen im Bestand notwendig, die Himstedt et al. (2009, 2011) über bildanalytische Verfahren mit Schätzgüten von $R^2 > 0.9$ erreichten bei einem Fehler von 3 – 6 % der Ertragsanteile.

Aktuelle Projekte befassen sich mit der Kombination verschiedener Sensordaten. So gibt es Hinweise auf eine deutliche Verbesserung der Schätzgüte bei gemeinsamer Verrechnung von Ultraschall-Bestandeshöhen und einfach zu messenden spektralen Vegetationsindices. Neben der Optimierung beschriebener Strategien gilt es die bisher eingesetzten Sensoren auf Weidesystemen unterschiedlicher Intensitäten und damit Beweidungsmuster zu evaluieren, was ab 2013 in einem DFG-Graduiertenkolleg zusammen mit der Universität Göttingen erfolgen wird.

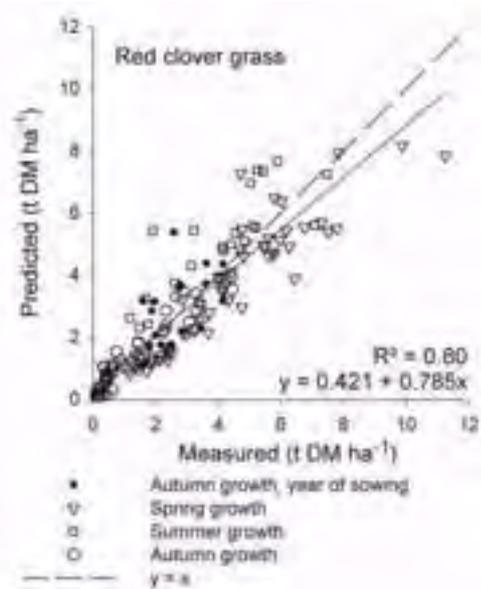


Abb. 1: Gegenüberstellung über Ultraschall-Bestandeshöhen geschätzter und gemessener Ertragsdaten eines Rotklee-gras-gemenges (aus: Fricke et al. 2011)

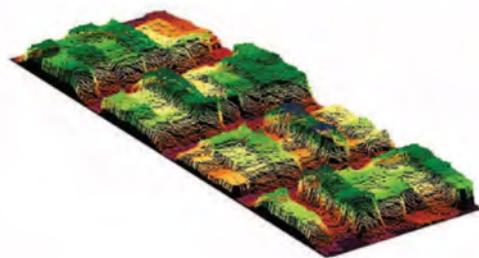


Abb. 2: 3D-Simulation der Bestandeshöhen eines mit Ultraschall überfahrenen Parzellenversuchs (aus: Fricke et al. 2011, verändert)

3. Umweltgerechte Anbausysteme von Energiepflanzen

Einhergehend mit der Zunahme von Biogasanlagen in der Landwirtschaft ist seit Jahren der Anbau von Energiepflanzen zur Verwertung in Biogasanlagen kontinuierlich angestiegen. Dabei nimmt der Silomais mit einem Anteil von ca. 80 % den größten Anteil ein, aufgrund hoher Biomasseerträge, intensiver züchterischer Bearbeitung und hoher Biogaserträge sowie guter Verwürbarkeit. Zugleich entstehen mit dem Maisanbau in herkömmlichen Anbausystemen häufig Umweltgefährdungen und Anbauprobleme wie Bodenerosion und Nährstoffauswaschung. Die Fixierung auf den Mais könnte diese Probleme sowie die Zunahme von Schädlingen und Krankheiten verschärfen. Daher werden Alternativen im und zum Maisanbau untersucht, die einen ertragreichen und umweltgerechten Energiepflanzenanbau zum Ziel haben. Im Fokus steht dabei die intensive Beforschung und Weiterentwicklung von Zweikulturnutzungssystemen, die neben hohen Flächenerträgen durch zwei Ernten im Jahr eine erhöhte Biodiversität, ganzjährige Bodenbedeckung, eine Reduzierung der Bodenbearbeitung sowie einen ganzjährigen Nährstoffentzug erlangen (Graß und Scheffer, 2005; Heuser et al., 2007; Stülpnagel et al., 2008). Diese Anbausysteme beinhalten den kombinierten Anbau einer Winterung gefolgt von einer Sommerung im Laufe eines Jahres (Abb. 3).

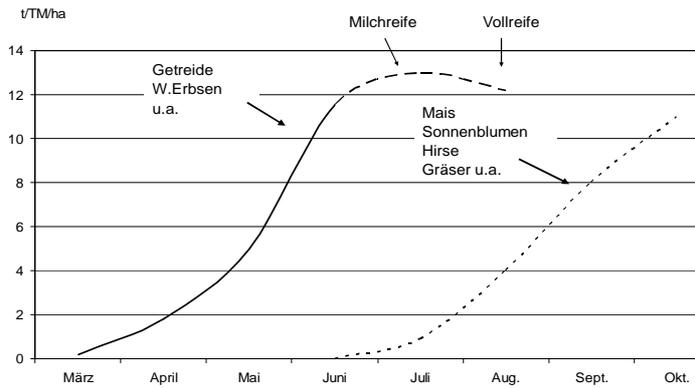


Abb. 3: Das Zweikulturnutzungssystem zur Energiepflanzenenerzeugung

Tab. 1: Ertragsvarianz als Faktor der Ertragsstabilität von Zweikultur- im Vergleich mit Hauptkulturnutzungssystemen (Nr. 1-3), Bandbreite von 7 Standorten über 3 Jahre (2006-2008). Je höher die Varianz, desto geringer die Ertragsstabilität, (Graß, 2012, unveröffentlicht).

Variante	Ertragsvarianz
1) Mais (nach Senf)	4,1 – 23,4
2) Sonnenblumen (nach Senf)	1,1 – 25,0
3) Energieroggen	1,1 – 13,0
4) Roggen/Mais	3,5 – 11,8
5) Roggen/Sonnenblume	0,2 – 10,3
6) Roggen/Mais-Sonnenblumen	1,1 – 8,3
7) Wintererbse-Roggen/Mais	1,1 – 7,1
8) Wintererbse-Roggen/Sonnenblume	0,6 – 4,5
9) Wintererbse-Roggen/Mais-Sonnenblume	0,5 – 3,4

Dabei können sämtliche Pflanzenarten in unterschiedlichen –pflanzenbaulich sinnvollen- Kombinationen bis hin zum Mischanbau genutzt werden. In Untersuchungen über mehrere Jahre an sieben Standorten (Stülpnagel et al., 2008) wurde deutlich, dass Zweikulturnutzungssysteme besonders an eher ungünstigeren Standorten oft höhere Erträge als der herkömmliche Maisanbau erreichen. Zweikulturnutzungssysteme weisen gegenüber dem herkömmlichen Maisanbau in Hauptfruchtstellung eine höhere Ertragsstabilität auf (Tab. 1), was besonders vor dem Hintergrund der Zunahme von Wetterextremen infolge des prognostizierten Klimawandels von großer Bedeutung ist. Ferner werden Energiepflanzenanbausysteme speziell unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus geprüft (Graß et al., 2009; Klingebiel et al., 2011).

4. Energetische Verwertung von Material des Extensivgrünlands und der Landschaftspflege

Ausgehend von der Situation, dass große Flächen Extensivgrünlands in Deutschland und Europa keine oder nur noch eine eingeschränkte Verwertung finden, untersucht das Fachgebiet Möglichkeiten einer energetischen Nutzung. Im Zentrum steht die Beforschung des IFBB-Verfahrens (Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse), in dem die Biomasse einer hydrothermalen und mechanischen Vorbehandlung unterzogen wird, deren Ziel es ist, mittels Maischung und anschließender Abpressung einen mineralstoffarmen Presskuchen zur Verbrennung und einen leicht vergärbaren Presssaft für die Biogaserzeugung herzustellen (Wachendorf et al., 2009). Untersuchungen in Deutschland, Estland und Wales zeigen, dass die Brennstoffqualität der Biomasse durch die Auswaschung der Mineralstoffe signifikant verbessert wird (Hensgen et al., 2012; Richter et al., 2010). Neben Grünlandbiomassen gilt dies auch für Abb. 5: Entwicklung des ADF-Gehaltes der Silage eines Extensivgrünlands im Frühjahrsaufwuchs und der Methanausbeute des daraus hergestellten IFBB-Presssaftes (nach Richter et al., 2011b)organisches Material kommunalen Grünschnitts (Hensgen et al., 2011). Die während der Vorbehandlung austretenden wasserlöslichen organischen Bestandteile der Biomasse weisen eine hohe Methanausbeute auf, die bis zu dem Doppelten der Ganzpflanzenvergärung betragen kann

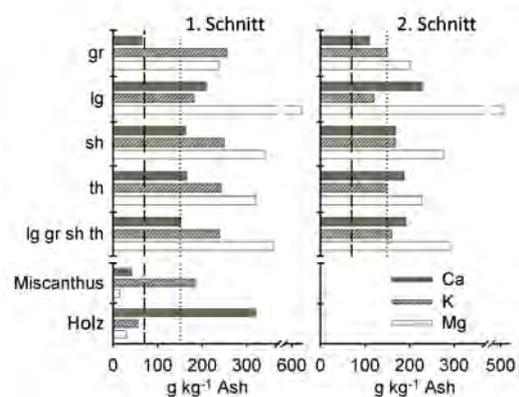


Abb. 4: Kalzium-, Kalium- und Magnesiumgehalte des Heus ungedüngter Grünlandbestände (Mittel der funktionalen Gruppen über 2 Jahre; gr=Gräser, lg=Leguminosen, sh=kleine Kräuter, th=große Kräuter) (nach Khalsa et al., 2012)

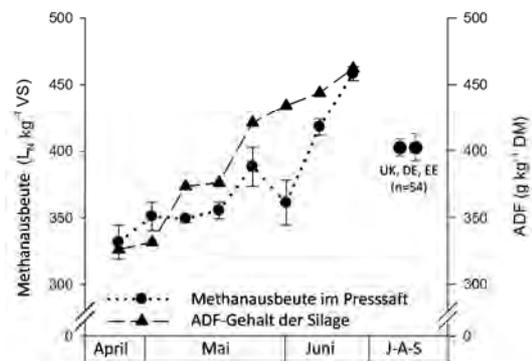


Abb. 5: Entwicklung des ADF-Gehaltes der Silage eines Extensivgrünlands im Frühjahrsaufwuchs und der Methanausbeute des daraus hergestellten IFBB-Presssaftes (nach Richter et al., 2011b)

(Bühle et al., 2012; Richter et al., 2009). Interessanterweise nimmt mit zunehmender Alterung des Grünlandbestandes sowohl die Brennstoffqualität als auch die Methan- ausbeute des Presssaftes zu (Richter et al., 2011a, b). Lebenszyklusanalysen zeigen, dass im Gegensatz zu traditionellen Verwertungsverfahren (Verfütterung, Mulchen, Kompostierung) eine thermische Verwertung deutlich geringere Treibhausgasemissionen verursacht (Bühle et al., 2012; Bühle et al., 2011). Wenngleich die Verbrennung von Heu bezüglich der Emissionen und der Energieeffizienz ähnlich günstig abschneidet wie die Verbrennung der IFBB-Brennstoffe, so ist zu erwarten, dass die geringere Brennstoffqualität des Heus erhebliche feuerungstechnische Probleme verursachen dürfte (Khalsa et al., 2012). Ökonomische Analysen identifizierten wesentliche Rahmenbedingungen, die für einen wirtschaftlichen Betrieb einer kommerziellen Anlage erfüllt sein müssen (Blumenstein et al., 2012).

Literatur

- Biewer, S., Fricke, T., Wachendorf, M., 2009a. Determination of dry matter yield from legume/grass swards by field spectroscopy. *Crop Science* 49: 1927–1936.
- Biewer, S., Fricke, T., Wachendorf, M., 2009b. Determination of forage quality in legume–grass mixtures using field spectroscopy. *Crop Science* 49: 1917–1926.
- Blumenstein B., Bühle L., Wachendorf M., Möller D. (2012): Economic assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery , animal based and non-refining management systems. *Bioresource Technology*, 119, 312-323.
- Bühle L., Hensgen F., Donnison I., Heinsoo K., Wachendorf M. (2012): Life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery, animal-based and non-refining management systems. *Bioresource Technology*, 111, 230-239.
- Bühle L., Reulein J., Stülpnagel R., Zerr W., Wachendorf M. (2012): Methane yields and digestion dynamics of press fluids from mechanically dehydrated maize silages using different types of digesters. *Bioenergy Research*, 5, 294-305.
- Bühle L., Stülpnagel R., Wachendorf M. (2011): Comparative life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) and whole crop digestion (WCD) in Germany. *Biomass and Bioenergy*, 35, 363-373.
- Fricke, T., Richter, F., Wachendorf, M. (2011): Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 79 (2011) 142–152.
- Graß R., Scheffer K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 9/10, S. 435-439.
- Graß R., Stülpnagel R., Kuschnereit S., Wachendorf M. (2009): Energiepflanzenanbau für die Biogas- erzeugung im Ökologischen Landbau. In: Mayer, J., Alföldi, T., Leiber, F., Dubois, D., Fried, P., Heckendorn, F., Hillmann, E., Klocke, P., Lüscher, A., Riedel, S., Stolze, M., Strasser, F., Van Der Heijden, M. und Willer, H. (Hrsg.) Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 11. – 13. Februar in Zürich, Band 1, 398-401.
- Hensgen F., Richter F., Wachendorf M. (2011): Integrated generation of solid fuel and biogas from green cut material from landscape conservation and private households. *Bioresource Technology*, 102, 10441-10450.
- Hensgen F., Bühle L., Donnison I., Fraser M., Vale J., Corton J., Heinsoo K., Melts I., Wachendorf M. (2012): Mineral concentrations in solid fuels from European semi-natural grasslands after hydro- thermal conditioning and subsequent mechanical dehydration. *Bioresource Technology*, 118, 332-342

Einleitende Vorträge

- Heuser F., Stülpnagel R., v. Buttlar C., Wachendorf M. (2007): Systemversuch zum Zweikultur-Nutzungssystem auf sieben Standorten einem Multisite-Experiment, *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 19, 198-199.
- Himstedt, M., T. Fricke, Wachendorf, M., 2009. Determining the contribution of legumes in legume/grass mixtures using digital image analysis. *Crop Science* 49: 1910–1916.
- Himstedt, M., T. Fricke, Wachendorf, M., 2011. The Benefit of Color Information in Digital Image Analysis for the Estimation of Legume Contribution in Legume-Grass Mixtures. *Crop Science* (accepted for publication).
- Khalsa J., Fricke T., Weisser W. W., Weigelt A., Wachendorf M. (2012): Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion: results from a grassland diversity experiment. *Grass and Forage Science*, doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x
- Klingebiel L., Stülpnagel R., Groß R., Wachendorf, M. (2011): Energiepflanzenanbau zur Biogaserzeugung im Ökologischen Landbau - Ergebnisse aus dem Versuch ÖKOVERS. In: Leithold G., Becker K., Brock C., Fischinger S., Spiegel A.-K., Spory, K., Wilbois K.-P. und Williges U. (Hrsg.) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 16. – 18. März in Gießen, Band 1, 229-232.
- Richter F., Fricke T., Wachendorf M. (2011a): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 1. The fate of mineral compounds. *Bioresource Technology*, 102, 4855-4865.
- Richter F., Fricke T., Wachendorf M. (2011b): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 2. Properties of energy carriers and energy yield. *Bioresource Technology*, 102, 4866-4875.
- Richter F., Groß R., Fricke T., Zerr W., Wachendorf M. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. II. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on anaerobic digestion of press fluids. *Grass and Forage Science*, 64, 354-363.
- Richter F., Fricke T., Wachendorf M. (2010): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. III. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on solid fuel properties and on energy and greenhouse gas balances. *Grass and Forage Science*, 65, 185-199.
- Stülpnagel R., von. Buttlar C., Heuser F., Wachendorf M. (2008): Evaluation of the Double-Cropping-System on Seven Sites in Germany – Results from two years: 16th European Biomass Conference & Exhibition. From Research to Industry and Markets. Valencia, 02. – 06. June 2008, Proceedings 79-83.
- Wachendorf M., Richter F., Fricke T., Groß R., Neff R. (2009): Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermic conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science*, 64/2, 132-143.

Ökonomie der Biogaserzeugung von Grünlandaufwüchsen

Ulrich Keymer

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR AGRARÖKONOMIE,
Menzinger Straße 54, 80638 München, ulrich.keymer@LfL.bayern.de

1. Einleitung und Problemstellung

Die jüngst aktualisierte Grünlandstudie Bayern (HALAMA, 2011) kommt zu dem Ergebnis, dass bereits im Jahr 2008 neben knapp 98.000 ha Ackerfutter rund 106.000 ha Dauergrünland, davon ca. 8.800 Streuwiesen, nicht mehr für die Fütterung von Raufutterfressern erforderlich waren. Steigt die durchschnittliche Milchleistung in Bayern, wie in der Studie prognostiziert, bis zum Jahr 2020 auf knapp 7 500 kg pro Kuh und Jahr, sind dann nur noch rund 1,0 Million Milchkühe erforderlich, um dieselbe Milchmenge zu erzeugen wie im Basisjahr 2008. Dementsprechend ist im Prognosezeitraum ein Rückgang des Kuhbestands um ca. 228 000 Tiere oder knapp 18,5 %, bezogen auf das Basisjahr, zu erwarten. Die Gesamtzahl der Rinder (Milchkühe, Mutterkühe, männliche und weibliche Rinder) könnte im selben Zeitraum um knapp 650 000 oder 18,8 % abnehmen. Der Grundfutterbedarf sinkt dann um ca. 1,9 Mio. Tonnen Trockenmasse, da sich die Bestände der sonstigen Raufutterfresser in toto nur wenig verändern. Bis zum Jahr 2020 werden dementsprechend schätzungsweise 70.000 ha Ackerfutterfläche und zwischen 165.000 und 209.000 ha Dauergrünland nicht mehr für die Versorgung der Raufutterfresser benötigt.

Die Milchkuh- und damit die Rinderbestände sind nicht nur in Bayern rückläufig. Wenn Dauergrünland aus landeskulturellen und/oder naturschutzfachlichen Gründen weder umgewidmet werden noch brachfallen soll, müssen nachhaltige und wirtschaftlich sinnvolle Alternativen gesucht werden. Die Nutzung des Grünlandaufwuchses als Substrat für die Biogaserzeugung könnte eine solche Alternative sein.

2. Substitution von Maissilage

Gras bzw. Grünlandaufwuchs in Form von Silage kommt durchschnittlich in jeder zweiten Biogasanlage zum Einsatz, allerdings meist nur als Ko-Substrat in untergeordneten Mengen (SPATZ ET AL., 2011). Sofern eine Biogasanlage für einen Substratmix aus nachwachsenden Rohstoffen konzipiert ist, sollte gehäckseltes Gras bis zu einem Masseanteil von etwa einem Drittel ohne größere Schwierigkeiten zu verarbeiten sein. Die Methanausbeuten pro Tonne Frischmasse (FM) erreichen zwar nicht ganz das Niveau einer Maissilage (siehe Tab. 1), trotzdem könnte Grassilage eine überlegenswerte Alternative zur Auflockerung enger Energiepflanzenfruchtfolgen sein. Ökonomisch macht das aber nur dann Sinn, wenn die Bereitstellungskosten des Substitutes, die des zu substituierenden Substrates zumindest nicht überschreiten.

Tab. 1: Substrate und ihre Qualitätsparameter

Substrat	TM [%]	oTM [%]	Ausbeute Nm ³ /t _{oTM}	CH ₄ -Gehalt [%]	CH ₄ -Ertrag [Nm ³ /t _{FM}]	H _i im Vergl. zu Maissilage
Maissilage (Ø) ^{*)}	33 %	95 %	650	52 %	106	1
Grassilage (Ø) ^{*)}	35 %	90 %	600	53 %	100	0,94
Grassilage (-)	35 %	90 %	550	53 %	92	0,87
„Lapf“-Gras ^{*)}	50 %	85 %	200	50 %	43 - 85	0,41 – 0,80

^{*)}Quelle: KTBL Heft 88

Neben den Erzeugungskosten bzw. dem Zukaufpreis - frei stehender Bestand - umfassen die Substratbereitstellungskosten frei Eintrag die Kosten der Ernte, der Einlagerung und der Silierung sowie die Kosten der Entnahme aus dem Lager und des Transportes bis zur Eintragsvorrichtung der Biogasanlage einschließlich Lohn. Hinzu kommen die Kosten für die Ausbringung des Gärrestes. Muss ein Anlagenbetreiber beispielsweise Energiemais für 1.600 €/ha zukaufen, ergeben sich bei einem gewogenen Frischmasseertrag von 52 t_{FM}/ha Bereitstellungskosten frei Feststoffeintrag in Höhe von rund 40 €/t Maissilage (siehe Tab. 2). Rechnet man die Kosten der Gärrestrücklieferung ein, erhöht sich der Betrag nochmals um ca. 2 bis 3 €/t Silage.

Tab. 2: Bereitstellungskosten von Maissilage frei Feststoffeintrag inkl. Gärrestausbringung

Transportentfernung	km	2	4
Frishmasseertrag (gewogen)	t _{FM} /ha	52	
Zukaufpreis inkl. USt.	€/ha	1.600	
	€/t Silomais	30,77	
Umsatzsteuer (10,7 %)	€/t Silomais	-2,97	
Zukaufpreis netto	€/t Silomais	27,80	
Häckseln und Walzen	€/t Silomais	+3,50	
Transport	€/t Silomais	+2,70	+3,40
Abdeckung	€/t Silomais	+0,50	
Verluste im Silo	%	10	
Entnahme und Transport	€/t Maissilage	+1,30	
Bereitstellungskosten frei Eintrag	€/t Maissilage	39,63	40,41
Gärrestausbringung	€/t Maissilage	+2,10	+2,60
Bereitstellungskosten	€/t Maissilage	41,73	43,01

Die Bereitstellung von Grassilage, einschließlich der Gärrestausbringung, darf dann rund 36 €/t Silage ausmachen, wenn man einen im Vergleich zu Maissilage um 13 % geringeren Methanertrag und einen kleinen Risikoabschlag in Ansatz bringt. Saldiert man von diesem Betrag die Kosten der einzelnen Arbeitsgänge und rechnet die Silierverluste ein (siehe Tabelle 3), könnte der erste Schnitt (10 t Anwelkgut) mit 167 € vergütet werden. Der dritte Schnitt (4 t Anwelkgut) müsste nahezu kostenfrei zur Verfügung stehen. Ertragsschwache Folgeschnitte verursachen in der Regel so hohe Ernte- und Transportkosten, dass für eine Entlohnung des Aufwuchses kaum ein Spielraum bleibt.

Tab. 3: Bereitstellungskosten von Grassilage frei Feststoffeintrag inkl. Gärrestausbringung (Transportentfernung 2 km)

Ertrag Anwelkgut gewogen (35 % TM)	t_{FM}/ha	10	4
Wert der Maissilage frei Eintrag	€/t Maissilage	42	
Hi im Vergleich zu Maissilage		0,87	
Max. tragbare Bereitstellungskosten	€/t Grassilage	36,00	
Gärrestausbringung	€/t Grassilage	-2,20	
Entnahme und Transport	€/t Grassilage	-1,7	
Verluste im Silo	%	12	
Bereitstellungskosten frei Silo abgedeckt	€/t Anwelkgut	28,24	
Abdeckung	€/t Anwelkgut	-0,60	
Transport	€/t Anwelkgut	-2,80	-5,00
Mähen, Häckseln und Walzen	€/t Anwelkgut	-7,80	-16,80
Management, Logistik	€/t Anwelkgut	-2,00	
Zukaufspreis netto	€/t Anwelkgut	15,04	3,84
Umsatzsteuer (10,7 %)	€/t Anwelkgut	+1,61	+0,41
Zukaufspreis inkl. USt.	€/t Anwelkgut	16,65	4,25
	€/ha	166,50	17,00

3. Biogasanlagen zur Vergärung von Grünlandaufwuchs

Noch gibt es relativ wenige Biogasanlagen mit einem Anteil von deutlich mehr als 50 % Grassilage am Substratmix. Das faserreiche Material stellt erhöhte Anforderungen an die Technik; insbesondere an Pumpen, Misch- und Fördereinrichtungen. Sand und Steine, die durch das Schwaden und die Aufnahme in das Substrat gelangen, können den Verschleiß deutlich erhöhen. Bei Monofermentation lassen sich wegen des hohen Eiweißgehalts im Gras Prozesshemmungen nicht immer vermeiden. Zur Stabilisierung des Prozesses ist der Zusatz von Gülle (Pufferkapazität) sinnvoll. Der Flächenbedarf von Grasvergärungsanlagen ist trotz des relativ hohen Gülleanteils auf den ersten Blick überraschend hoch (siehe Tab. 4). Schon eine kleine Anlage braucht knapp 100 ha Grünlandaufwuchs zur Substratversorgung, wenn man von einem eher mäßigen Grasertrag ausgeht und den Methanertrag vorsichtig ansetzt. Bei drei Nutzungen sind dann rund 300 ha zu ernten. Würde man unter sonst gleichen Bedingungen den etwas höheren Grasertrag aus Tab.1 ansetzen, ließen sich knapp 8 % der Futterfläche einsparen.

Tab. 4: Flächenbedarf von Grasvergärungsanlagen mit einem Gülleanteil von 35 Masseprozent

Installierte Leistung der BGA	kW_{el}	75	190	500
Bruttoertrag Grünland	t_{TM}/ha	7		
Nettoertrag (12 % Silier-/Lagerverlust)	t_{TM}/ha	6,2		
Nettoertrag Grassilage (35 % TM)	t_{TM}/ha	17,6		
Substratbedarf Grassilage	t_{FM}/a	1.667	4.110	10.531
Flächenbedarf Grünland	ha	95	234	598

Für zwei Standorte wurden die Substratbereitstellungskosten frei Eintrag in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik ermittelt. Um die Kosten möglichst standortgerecht abbilden zu können, wurden bei Maschinenringen, Lohnunternehmern und Biogasanlagenbetreibern die an den jeweiligen Standorten verfügbaren Maschinen und Ernte-

ketten sowie die gegendüblichen Verrechnungspreise erhoben. Damit geht einerseits das regionale Preisniveau in die Berechnung ein, andererseits sind in den Verrechnungspreisen Festkosten- und Lohnanteile bereits berücksichtigt. Die Verrechnungspreise sind Nettopreise und beinhalten die Maschinen, den Fahrer und den Treibstoff.

Für die Berechnungen gelten folgende Bedingungen:

- Die Silo-Feld-Entfernung beträgt 6 Kilometer.
- Die Flächenleistungen der Arbeitsverfahren sind auf Grund des niedrigen Ertrags, der geringen Schlaggröße (1 bis 2 ha) und des häufigen Umsetzens der Leitmaschine herabgesetzt.
- Kosten für den Arbeitsgang Zetten/Wenden fallen nicht an. Unter normalen Witterungsverhältnissen reicht die Aufbereitung des Mähgutes aus.
- Die Kosten des Fahrsilos sind in die Bereitstellungskosten eingepreist. Die Anschaffungskosten betragen 20 €/m³ Siloraum.
- Für das Abdecken der Silos sind Kosten in Höhe von 0,40 €/m³ einschließlich Lohn angesetzt.
- Die Maschinenkosten der Entnahme aus dem Silo und der Transport zum Feststoffeintrag sollen 1,20 €/m³ betragen. Der Arbeitszeitbedarf für die Entnahme und den Transport zum Feststoffeintrag ist mit 5 Min./m³ Silage angenommen.
- Die Kosten der Rücklieferung der Gärreste auf die beernteten Flächen und deren Ausbringung sind in den Bereitstellungskosten enthalten. Bei ortsüblicher, überbetrieblicher Mechanisierung ergeben sich für die beiden Standorte Ausbringkosten in Höhe von 4,77 €/m³ bzw. 4,19 €/m³. Geht man davon aus, dass pro Tonne Grassilage ca. 0,76 Tonnen Gärrest anfallen, ist jede Tonne Substrat am Standort Hinterschmiding mit zusätzlich 3,20 € und in Raisting mit 3,64 € belastet. Bezogen auf die Trockenmasse des Substrats betragen die Ausbringkosten 9,15 € bzw. 10,40 €.

Die Substratbereitstellungskosten, in Abhängigkeit von der eingesetzten Verfahrenstechnik, sind für beide Standorte in Tab. 5 ausgewiesen. Die Details der Berechnung sind in der LfL-Schrift Nr. 4/2011 publiziert.

Tab. 5: Durchschnittliche Substratbereitstellungskosten frei Eintrag

Standort	Hinterschmiding				Raisting			
	1.	2.	3.	Ø	1.	2.	3.	Ø
Ertrag [TM]	3,50	2,10	1,40	7,00	3,15	2,80	1,05	7,00
Verfahren	€/ t TM				€/ t TM			
Häcksler	69,86	82,36	101,77	79,99	76,25	81,76	132,17	86,84
Ladewagen	74,77	86,31	100,03	83,29	76,61	79,33	115,06	83,47

Kurzgehäckseltes Substrat eignet sich aus Sicht der Biogasanlagentechnik am besten. Grünlandaufwuchs sollte deshalb, wenn möglich, als Häckselgut siliert werden. In Hinterschmiding kann es bei überbetrieblicher Ernte und Einlagerung im Durchschnitt für etwa 80 €/t Trockenmasse frei Eintrag für die Biogaserzeugung bereitgestellt werden. Am Standort Raisting liegen die Bereitstellungskosten, aufgrund der ungünstigeren Erntebedingungen (moorige Böden) bei rund 87 €/t Trockenmasse.

Betrachtet man die einzelnen Schnitte, zeigt sich, dass mit abnehmendem Ertrag die Erntekosten und damit die Bereitstellungskosten deutlich steigen. Die geringere Erntemenge kann nicht durch höhere Flächenleistung ausgeglichen werden. Insbesondere der 3. Schnitt ist mit sehr hohen Kosten belastet. Kostengünstiger wäre es insbesondere am Standort Raisting, den 3. Schnitt mit dem Ladewagen zu werben. Die geringen Mengen an Kurzschnittladewagengut sollten von der Biogasanlagentechnik noch ohne Zusatzaufwand zu bewältigen sein. Soll die komplette Werbung des Anwelkgutes mit Kurzschnittladewagen erfolgen, ist dies schon bei der Planung der Biogasanlage zu berücksichtigen. Größere Leitungsquerschnitte, angepasste Rührtechnik oder eine Nachzerkleinerung können im Einzelfall die Anlagen teurer machen und die Betriebskosten der Anlage deutlich erhöhen. Unabhängig davon verteuert die Ladewagenkette die Bereitstellung der Silage am Standort Hinterschmiding um rund 3 €/t TM gegenüber der Häckslerkette. In Raisting ist auf Grund der örtlichen Gegebenheiten Kurzschnittladewagengut im Durchschnitt um ca. 3 €/t TM günstiger bereitzustellen als Häckselgut. Insgesamt betrachtet, erscheint es gerechtfertigt, an beiden Standorten die durchschnittlichen Substratbereitstellungskosten frei Eintrag sowohl der Häcksl- als auch die der Ladewagenkette mit 85 €/t TM anzusetzen. Nutzungskosten der Grünlandfläche oder flächengebundene Gemeinkosten sind in diesem Betrag nicht enthalten.

Unter den getroffenen Annahmen erweisen sich die Biogas-Modellanlagen (siehe Tab. 7.1 und Tab. 7.2) zur Grasvergärung, ökonomisch gesehen, als relativ stabil, sofern sie nach den Rahmenbedingungen des EEG 2009 neben dem Gülle-Bonus auch den Landschaftspflege(Lapf)-Bonus erhalten. Der Gewinne liegen zwischen 2,4 Ct/kWh_{el} (500 kW_{el}-Anlage) und 3,7 Ct/kWh_{el} (190 kW_{el}-Anlage). Nach Abzug der Lohnkosten bzw. des Lohnansatzes verbleiben Unternehmergewinne in Höhe von 1,4 Ct/kWh_{el} (75 kW_{el}-Anlage) bis 2,2 Ct/kWh_{el} (190 kW_{el}-Anlage). Die Abb. 1 macht aber deutlich, dass ohne den Lapf-Bonus die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben ist.

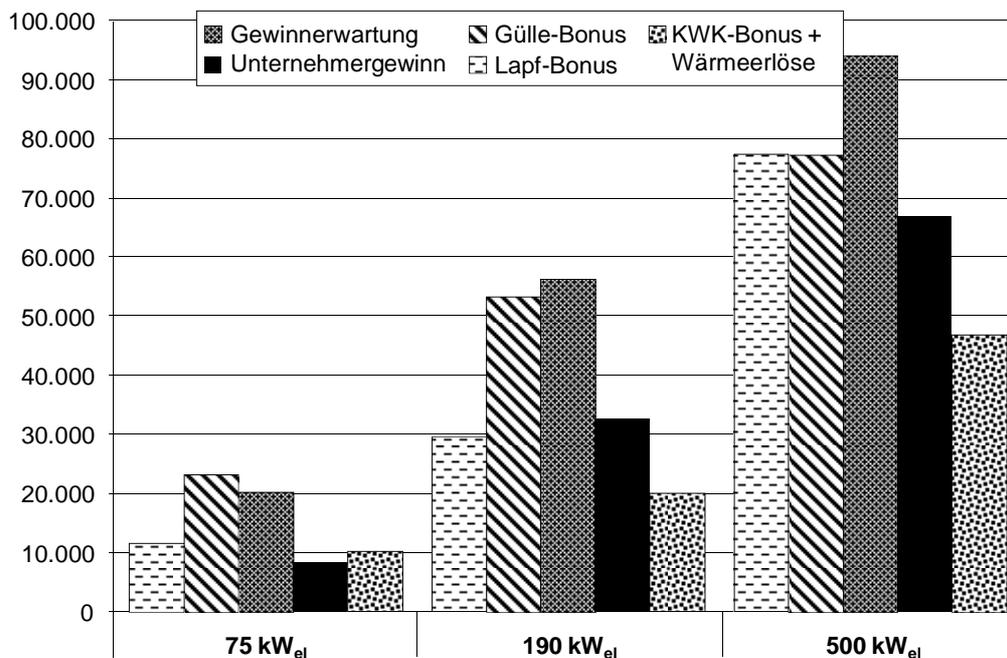


Abb. 1: Gewinnerwartung und Erlöse aus den Boni und der Wärmenutzung - EEG 2009 -

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit sind die Substratbereitstellungskosten. Mit dem Einsatz schlagkräftiger, überbetrieblicher Verfahren sind die Möglichkeiten der Kostensenkung nach dem derzeitigen Stand der Technik weitgehend ausgeschöpft. Es wird nicht einfach sein, die Substratbereitstellungskosten in Höhe von rund 30 €/t FM bzw. 85 €/t TM einschließlich der Gärrestausbringung und der Kosten für den beanspruchten Siloraum dauerhaft zu erreichen. Der Spielraum für die Bezahlung eines Entgelts für die Flächennutzung – auf Kosten des Unternehmensgewinns – ist gering (siehe Abb. 2); d. h. die Grasvergärung wird, rationales Handeln vorausgesetzt, um Flächen nur dann konkurrieren, wenn realiter die Kalkulationsannahmen deutlich übertroffen bzw. die Anschaffungskosten merklich unterschritten werden.

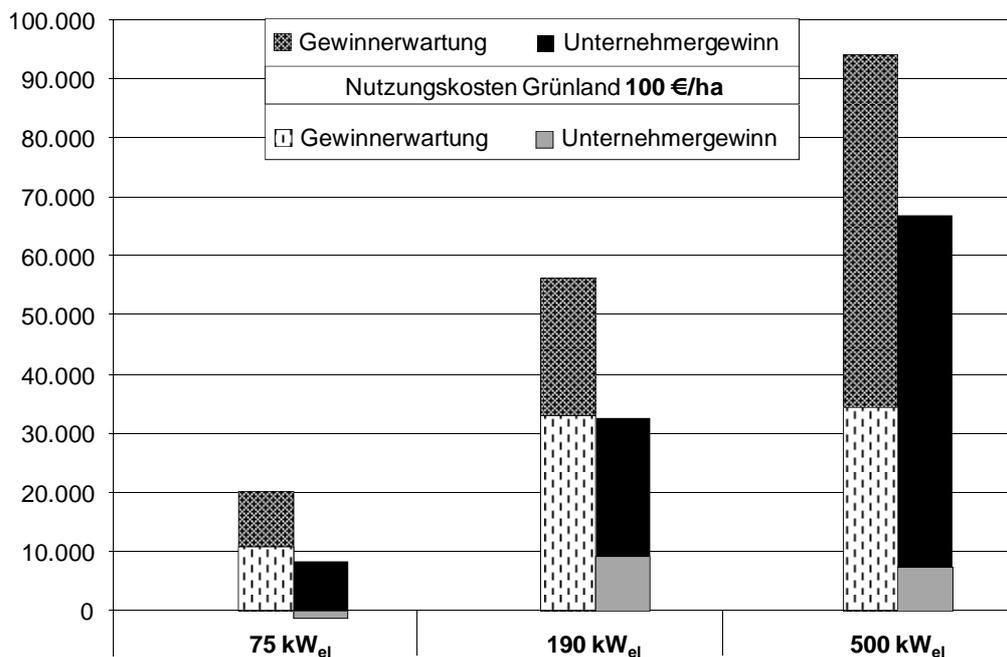


Abb. 2: Gewinnerwartung bei Ansatz von Nutzungskosten - EEG 2009 -

Unter den Bedingungen des EEG 2012 sinken die Vergütungen deutlich. Die kleine Anlage bekommt, wenn sie im Jahr 2012 in Betrieb genommen würde, knapp 4,5 Ct/kWh_{el} weniger (siehe Tab. 6). Mit zunehmender Anlagengröße vermindert sich die Absenkung deutlich. Für die Modellanlage mit 500 kW_{el} betragen die Mindererlöse „nur noch“ 2,09 Ct/kWh_{el}; multipliziert mit der eingespeisten Strommenge ergibt sich jedoch ein Mindererlös in Höhe von fast 83.000 €. Insgesamt gesehen, sind die Modellanlagen unter den Vergütungsbedingungen des EG 2012 nicht wirtschaftlich zu betreiben.

Einleitende Vorträge

Tab. 6: Vergütungen und Erlöse nach EEG 2009 und 2012

EEG 2009 für Inbetriebnahme 2011				
Nennleistung	kW _{el}	75	190	500
Stromeinspeisung	kWh _{el}	594.000	1.504.800	3.960.000
Vergütungen	Ct/kWh _{el}	24,95	24,16	21,22
Erlöse	€/Jahr	148.203	363.560	840.312
EEG 2012 für Inbetriebnahmejahr 2012				
Ø Grundvergütung	Ct/kWh _{el}	14,30	14,05	12,96
Ø ESK - Bonus	Ct/kWh _{el}	6,17	6,17	6,17
Vergütungen	Ct/kWh _{el}	20,47	20,21	19,13
Erlöse	€/Jahr	121.592	304.210	757.548
Erlösdifferenz	€/Jahr	- 26.611	-59.440	-82.764

Tab. 7.1: Musterkalkulationen – Erlöse (Details siehe LfL-Schrift Nr. 4/2011)

Anlagenleistung			75 kW _{el}	190 kW _{el}	500 kW _{el}	
Substrate	Rindergülle	t/Jahr	898	2.213	5.671	
	Niederschlagswasser	t/Jahr	70	70	70	
	Grassilage	t/Jahr	1.667	4.110	10.531	
Gülleanteil		%	35	35	35	
Gasertrag		Nm³	313.535	772.822	1.980.222	
Bruttoenergieerzeugung	Heizwert Substrat	kWh/m ³	5,32	5,32	5,32	
		kWh/Jahr	1.666.667	4.108.109	10.526.316	
Prozessparameter	Fermenternutzvolumen	m ³	600	2.000	4.200	
	Raumbelastung	kg oTM/(m ³ *d)	2,69	1,99	2,43	
	Verweilzeit	Tage	83	114	94	
Gas-Otto-BHKW	Nutzungsgrad _{therm}	%	44	43	42	
	Nutzungsgrad _{el}	%	36	37	38	
Erzeugte thermische Energie		kWh _{therm} /Jahr	733.333	1.766.487	4.421.053	
Eigenwärmeverbrauch		%	26	28	27	
Nutzbare thermische Energie		kWh/Jahr	542.667	1.271.871	3.227.368	
erzeugte elektrische Energie		kWh_{el}/Jahr	600.000	1.520.000	4.000.000	
Transformationsverluste 1,0%		kWh _{el} /Jahr	6.000	15.200	40.000	
Eigenstromverbrauch		%	10	10	10	
Eingespeiste elektrische Energie		kWh/Jahr	594.000	1.504.800	3.960.000	
Jahr der Inbetriebnahme			2011	2011	2011	
Leistungen	Grundvergütung	€/Jahr	67.954	167.494	388.462	
	Stromverkauf	NawaRo-Bonus	€/Jahr	40.748	103.229	271.656
		Gülle-Bonus	€/Jahr	23.285	53.379	77.440
		KWK-Bonus	€/Jahr	4.591	10.039	25.195
		Landschaftspflege-Bonus	€/Jahr	11.642	29.494	77.616
Wärmeverkauf in Prozent der nutzbaren Energie		%	30	30	30	
Wärmeerlös abz. -kosten	2,00 Ct/kWh _{therm}	€/Jahr	3.256	7.631	19.364	
Wärmenutzung		kWh	40.000	40.000	40.000	
	Substitutionswert 6,00 Ct/kWh _{therm}	€/Jahr	2.400	2.400	2.400	
Summe Erlöse		€/Jahr	153.876	373.666	862.133	

Einleitende Vorträge

Tab. 7.2: Musterkalkulationen – Kosten und Gewinn (Details siehe LfL-Schrift Nr. 4/2011)

Anlagenleistung					75 kW _{el}	190 kW _{el}	500 kW _{el}	
Spezifische Anschaffungskosten ohne Silo					€/kW _{el}	5.459	4.973	3.987
Anschaffungskosten ohne Silo					€	409.397	944.918	1.993.558
davon Bauliche Anlagen und Technik					€	326.776	791.332	1.700.713
BHKW					€	82.621	153.586	292.845
Festkosten								
Abschreibung								
Gebäude, bauliche Anlagen 65,0% 21,0 Jahre					€/Jahr	10.114	24.494	52.641
Technik 35,0% 7,0 Jahre					€/Jahr	16.339	39.567	85.036
BHKW 7,0 Jahre					€/Jahr	11.803	21.941	41.835
Ø Zinsen/Zinsansatz 4,00 %					€/Jahr	9.705	22.397	47.251
Versicherung 0,7 %					€/Jahr	2.866	6.614	13.955
Pacht Betriebsgrundstück					€/Jahr	0	1.000	2.000
Summe					€/Jahr	50.827	116.013	242.718
Betriebskosten								
Instandhaltung: Bauliche Anlagen 1,5 %					€/Jahr	3.186	7.715	16.582
Technik 5,0 %					€/Jahr	5.719	13.848	29.762
BHKW					Ct/kWh	1,00	1,30	1,20
					€/Jahr	6.000	19.760	48.000
elektrische Prozessenergie					kWh/Jahr	60.000	152.000	400.000
Zukaufspreis 16,00 Ct/kWh					€/Jahr	9.600	24.320	64.000
Sonstige Kosten (z.B.: Gutachten, BF, ...)					€/Jahr	6.500	8.500	13.000
Anlagenbetreuung Arbeitszeitbedarf					Std./Jahr	411	832	913
Lohnkosten/-ansatz 25,00 €/Std					€/Jahr	10.266	20.805	22.813
Substratmanagement/Logistik Arbeitszeitbedarf					Std./Jahr	66	117	180
Lohnkosten/-ansatz 25 €/Std					€/Jahr	1.658	2.919	4.488
Summe					€/Jahr	42.928	97.868	198.645
NawaRo-Kosten frei Eintrag einschl. Gärrestausbringung								
Rindergülle - Transportkosten 5,00 €/t FM					€/Jahr	0	0	28.353
Grassilage Ø 29,75 €/t FM					€/Jahr	49.606	122.273	313.304
Vorfinanzierung Substraternte 18,80 €/t FM					€/Jahr	1.881	4.637	11.882
6 % Zins für 1,0 Jahre								
Ausbringung Niederschlagswasser 4,60 €/t FM					€/Jahr	322	322	322
Gärrestmasse insgesamt					t/Jahr	2.225	5.381	13.679
Notw. Lagerkapazität für 180 Tage					t/Jahr	1.097	2.654	5.059
Substratkosten					€/Jahr	51.810	127.232	353.861
Gewinnerwartung (ohne Lohnkosten/-ansatz)					€/Jahr	20.235	56.277	94.209
(Unternehmer-) Gewinnerwartung					€/Jahr	8.311	32.553	66.909
Kapitalrendite (U'Gewinn+Zinsansatz)/(Anschaffungskosten/2)					%	8,8	11,6	11,5

Literatur

- HALAMA, M. (2011): Ergebnisse der aktualisierten Grünlandstudie. In: Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie; LfL-Schriftenreihe 4/2011; Seite 7-32.
- SPATZ, A., KISSEL, R., EFFENBERGER, M. (2011): Bauliche und technische Konzepte für die Biogasanlagen. In: Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie; LfL-Schriftenreihe 4/2011; Seite 66-101.
- WANK, S., KEYMER, U. (2011): Betriebswirtschaftliche Bewertung. In: Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie; LfL-Schriftenreihe 4/2011; Seite 137-170.

Biogasproduktion von Grünland- und Futterbauflächen in Norddeutschland

A. Herrmann¹, E. Techow², F. Taube¹

¹ GRÜNLAND U. FUTTERBAU/ÖKOL. LANDBAU, CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL, 24118 Kiel, Email: aherrmann@gfo.uni-kiel.de

² LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 24768 Rendsburg

1. Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren hat die Biogasproduktion in Norddeutschland eine starke Ausdehnung erfahren, die begleitet wurde von einer Expansion des Silomaisanbaus. In einigen Regionen, wie beispielsweise im Norden Schleswig-Holsteins, ist parallel ein deutliches Wachstum der Milchproduktion und/oder Rindermast zu beobachten (Gömann und Kreins, 2012). Nutzungskonkurrenzen zwischen dem Anbau von Futterpflanzen zur Bioenergieerzeugung bzw. der Nahrungs- und Futtermittelproduktion können folglich nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft vor allem Flächen, die für den Anbau von Mais geeignet sind, während der Einsatz von Grünlandaufwüchsen in der Biogaserzeugung bislang einen deutlich geringeren Stellenwert einnimmt (DBFZ, 2011).

Ziel dieses Beitrages ist es daher, (i) die Potentiale der Biogasproduktion aus Grünland und Mais bzw. Maisfruchtfolgen am Beispiel von Schleswig-Holstein aufzuzeigen, (ii) die aus dem Anbau resultierenden Umwelteffekte darzustellen, (iii) eine ökonomische Betrachtung unterschiedlicher Substratproduktionssysteme vorzunehmen und (iii) Schlussfolgerungen für eine nachhaltige Biogasproduktion zu ziehen.

2. Ertragspotentiale der Substratproduktion

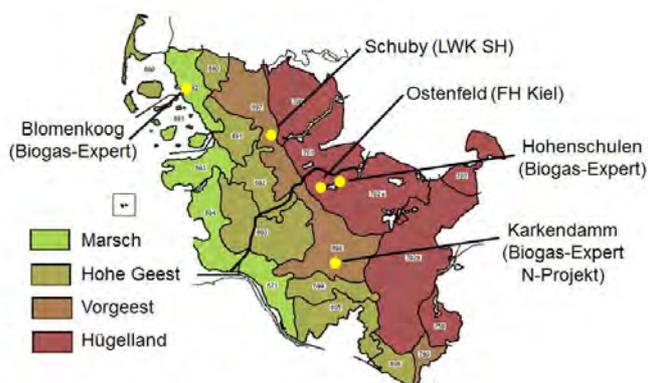


Abb. 1. Versuchsstandorte der Landschaftsräume Östliches Hügelland (Hohenschulen, Osterfeld), Geest (Karkendamm, Schuby) und Marsch (Blumenkoog).

Der Beitrag basiert auf Untersuchungen zur Ertragsleistung und den Umweltwirkungen von Substratproduktionssystemen, welche an unterschiedlichen Standorten in den drei Naturräumen Schleswig-Holsteins, d.h. Geest, Hügelland und Marsch, von der CAU Kiel, der Fachhochschule Kiel, sowie der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein durchgeführt wurden (Abb. 1).

Im Rahmen des Verbundprojekts BIOGAS-EXPERT wurden an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel unterschiedliche Anbausysteme für die Biogasproduktion geprüft. Auf drei für die Naturräume Schleswig-Holsteins typischen Standorten (Hohenschu-

len (HS) im Hügelland, Karkendamm (KD) in der Geest und Blumenkoog in der Marsch) wurden mehrjährige Feldversuche etabliert. Auf dem sandig-lehmigen Standort Hohenschulen wurde Silomais in Monokultur (FF1), eine Fruchtfolge aus Mais, Weizen zur GPS-Nutzung und Welschem Weidelgras als zweischnittige Winterzwischenfrucht (FF2), sowie eine Fruchtfolge aus Mais, Körnerweizen und Senf als Winterzwischenfrucht (FF3) geprüft. Auf dem leicht humosen Sandstandort Karkendamm wurde eine Maismonokultur (FF1) mit einem Ackergras (Dt. Weidelgras, 4 Schnitte, FF4) verglichen. Auf dem Marschstandort wurden die Anbausysteme FF1, FF2 sowie FF4 analysiert. Darüber hinaus wurde die Wirkung unterschiedlicher Stickstoffdüngerformen (mineralisch (KAS), Biogasgärrückstände (Mix) und in HS Schweinegülle (SG) bzw. in KD Rindergülle (RG)) in vier Düngestufen (N1-N4) getestet. Untersucht wurden die Ertragsleistungen der Anbausysteme, der spezifische Methanertag der jeweiligen Substrate sowie düngungsbezogene Lachgas- und Ammoniakemissionen und die N-Konzentration im Sickerwasser. Die gewonnenen Daten ermöglichten die Ermittlung der Energie- und Treibhausgasbilanzen der Biogasproduktion sowie Abschätzungen des Treibhausgasreduzierungs potentials.

Die Maismonokultur (FF1) erzielte auf den beiden Standorten KD und HS bei ausreichend hoher Stickstoffversorgung die höchsten Biomasseerträge (WIENFORTH, 2011), s. Abb. 2. Das Ertragsniveau des Deutschen Weidelgras in 4-Schnittnutzung (FF4) lag auf dem futterbaulich geprägten, fakultativen Grünlandstandort deutlich unter dem der Maismonokultur. Der von der Maismonokultur in HS erzielte Biomasseertrag lag deutlich über dem von FF2 und FF3, insbesondere bei Düngung mit Gärrest (nicht dargestellt). Das geringe Ertragsniveau von FF3 ist hauptsächlich auf den Verbleib des Weizenstrohs und der Senfbiomasse auf der Fläche zurückzuführen. Außerdem trugen versuchsbedingt geringe Weizenerträge im ersten Versuchsjahr zu den niedrigen Gesamterträgen von FF2 und FF3 bei. Zudem erreichte die in FF2 angebaute frühe Maissorte (S200) im Vergleich zur in FF3 und FF1 angebauten mittelfrühen Maissorte (S240) ein deutlich geringeres Ertragsniveau. Der Vorteil einer nahezu ganzjährigen und somit höheren Strahlungsaufnahme der Fruchtfolgen FF2 und FF3 im Vergleich zur Maismonokultur konnte unter den Versuchsbedingungen nicht in einen höheren Biomasseertrag umgesetzt werden. Zu etwas abweichenden Resultaten kamen Untersuchungen, die von der CAU Kiel im Rahmen des N-Projektes Karkendamm sowie von der FH Kiel in Ostenfeld durchgeführt wurden. Am Standort Karkendamm konnten mittels einer Maisfruchtfolge (Ackergras-Silomais-Triticale) vergleichbare TM-Erträge erzielt werden wie mit einer Maismonokultur, bei allerdings deutlich höherem N-Input (VOLKERS, 2004). Auch am Standort Ostenfeld wiesen Fruchtfolgen (Mais-GPS-Weizen-Gras bzw. Mais-Grünroggen) im 3-jährigen Mittel 10-20% höhere Ertragsleistungen auf als eine Maismonokultur (WULFES, 2010). Ob diese moderate Ertragssteigerung die höheren Kosten überkompensiert, bleibt zu hinterfragen. Sorghummonokultur bzw. -fruchtfolgen waren unter den gegebenen Witterungsbedingungen nicht konkurrenzfähig.

Auf dem Marschstandort zeichneten sich im 2-jährigen Mittel bei N-Versorgung über Mineraldünger die Maismonokultur und das Ackergras (FF4) durch die höchste Ertragsleistung aus (QUAKERNACK et al., 2011). Das Ertragspotential der Energiefruchtfolge (FF2) konnte nicht ausgeschöpft werden, da in einem Versuchsjahr witterungsbedingt Sommer- statt Winterweizen etabliert werden musste, was auf ein höheres Ertragsrisiko hinweist. Darüber hinaus konnte standortbedingt das Welsche Weidelgras nur über einen Herbstschnitt genutzt werden. Ein deutlich erhöhtes Ertragsrisiko

wurde auch für den Mais dokumentiert, da im Vorversuch ein kompletter Ertragsverlust für den Mais zu verzeichnen war, bedingt durch eine starke Frühjahrstrockenheit, welche das Auflaufen des Mais stark einschränkte. Hinsichtlich der spezifischen Methanerträge ($I_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$) zeigten sich in Hohenschulen und Karkendamm keine Effekte der Düngerform bzw. -menge und nur geringe Unterschiede zwischen den Kulturen (Mais: $350 I_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$, Weizen: $340 I_N \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$, Dt. Weidelgras $290\text{-}330 I_N \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ TM}$ in Abh. des Aufwuchses). Der Methanhektarertrag ($\text{m}^3_N \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) wurde somit hauptsächlich durch den Biomasseertrag determiniert und die kalkulierten Methanhektarerträge der Anbausysteme ($4.125\text{-}6.750 \text{ m}^3_N \text{ CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) wiesen eine vergleichbare Rangfolge und Abstufung auf wie die Biomasseerträge.

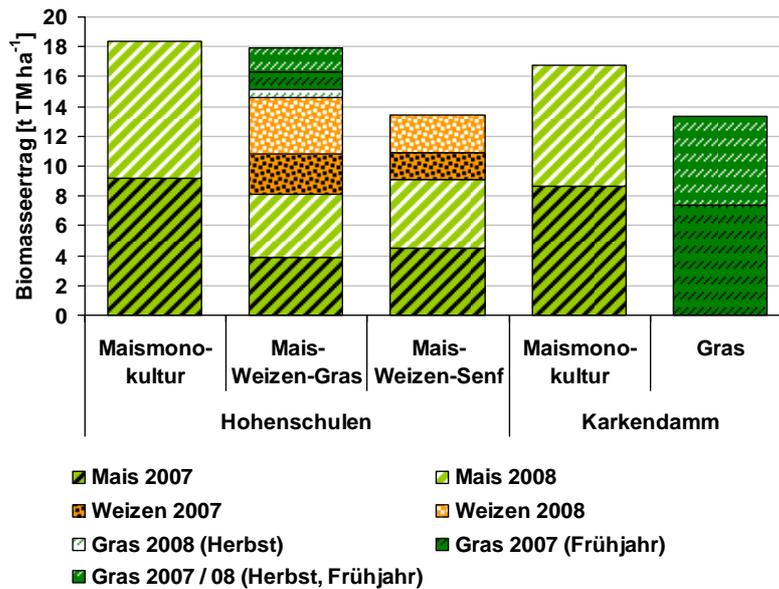


Abb. 2. Biomasseerträge der Anbausysteme auf den Versuchsstandorten Hohenschulen und Karkendamm im Mittel der Versuchsjahre bei mineralischer Stickstoffdüngung unter nicht limitierter Stickstoffversorgung (N3). Unterschiedliche Farben und Schraffuren geben jeweils den Ertragsanteil der einzelnen Kulturenarten in den unterschiedlichen Jahren wieder (WIENFORTH, 2011).

Inwieweit eine Reduktion der Schnitthäufigkeit und damit der Produktionskosten in einer Steigerung der Konkurrenzfähigkeit von Grünland resultieren kann, wurde in allen drei Naturräumen geprüft. Die Ergebnisse eines im Hügelland und in der Geest durchgeführten 2-jährigen Versuches mit 12 Dt. Weidelgrassorten aus 3 Reifegruppen belegen eine Interaktion von Schnitthäufigkeit und Standort. Während in Hohenschulen eine Reduktion der Schnittzahl in einem Anstieg des Jahres-TM-Ertrages resultierte, konnte am Standort Schuby kein Effekt abgesichert werden (TOBI et al., 2012). In der Marsch wurden für das 3-Schnittsystem in Abhängigkeit der geprüften Dt. Weidelgrassorte (mfrüh vs. mspät) etwas höhere bzw. vergleichbare Methanhektarerträge als im 4-Schnitt dokumentiert (TECHOW et al., 2011). Zu bedenken ist jedoch die geringere Persistenz von Weidelgrasbeständen bei reduzierter Nutzungsdensität.

3. N-Bedarf und N-Düngewirkung von Gärresten

Von allen geprüften Anbausystemen zeichnete sich die Maismonokultur durch den geringsten N-Bedarf zur Erzielung des Maximalertrages (= N-Optimum) aus. So benötigten das Grünland und Anbausystem FF2 bei mineralischer Düngung (KAS) mit 300 bzw. 267 kg N ha⁻¹ eine mehr als doppelt so hohe Stickstoffmenge im Vergleich zu FF1 (135 kg N ha⁻¹ in KD, 124 kg N ha⁻¹ in HS), was auf eine höhere N-Nutzungseffizienz von Mais zurückzuführen ist.

Was den relativen N-Düngewert* der organischen N-Dünger betrifft, zeigte sich sowohl in der Maismonokultur an beiden Standorten (HERRMANN et al., 2012b) als auch im Grünland eine Überlegenheit der Gärrestapplikation (HS-FF1: 0.98, KD-FF1: 0.75, KD-FF4: 0.65) im Vergleich zur Düngung mit Rinder- oder Schweinegülle (HS-FF1: 0.75, KD-FF1: 0.57, KD-FF4: 0.62), während in FF2 Schweinegülle einen höheren N-Düngewert (0.98 vs. 0.87) aufwies. Die höhere Düngewirkung des Gärrestes in der Maismonokultur bzw. im Grünland erscheint überraschend angesichts des geringeren Ammonium-N-Anteils des Gärrestes, wird aber vermutlich bedingt durch das geringere C/N-Verhältnis (reduzierte N-Festlegung). Der geringere N-Düngewert des Gärrestes in der Energiefruchtfolge FF2 ist zurückzuführen auf eine unterschiedliche Dynamik der N-Aufnahme von Mais und Weizen. Während der hohe N-Bedarf von Weizen im Frühjahr/Frühsummer über den hohen Ammoniumgehalt der Schweinegülle abgedeckt wird, kann Mais den aus der Mineralisation freigesetzten Stickstoff effizienter nutzen. Bei einer N-Versorgung alleinig über Gärrest kann jedoch das Ertragspotential von Grünland nicht voll ausgeschöpft werden, d.h. ein weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf ist nicht möglich. So wurden in der Marsch bei N-Aufwandmengen von 360-480 kg N ha⁻¹ Ertragsdifferenzen von bis zu 38% zwischen mineralischer N-Düngung und Gärrestapplikation festgestellt.

* relativer N-Düngerwert = $NUE_{organisch} / NUE_{mineralisch}$, und $NUE = (N\text{-Aufnahme der Variante} - N\text{-Aufnahme der Kontrolle}) / (\text{Gesamt-N-Düngungsmenge})$; der N-Düngerwert wurde nach Abzug der NH₃-Emission berechnet

4. Gasförmige N-Verluste und N-Auswaschung

Gärreste stellen wertvolle Nährstoffquellen dar, welche nachhaltig eingesetzt werden sollten, um auf Basis fossiler Brennstoffe erzeugte mineralische Düngemittel zu ersetzen. Herausforderungen in diesem Zusammenhang ergeben sich in Regionen mit hohen Anlagendichten aus den zur Verfügung stehenden Gärrestmengen. Zum anderen können spezifische Gärresteigenschaften Konfliktpotential zu bestehenden Umweltschutzziele bergen. Dies betrifft im Besonderen (i) die Wasserrahmenrichtlinie, (ii) die NEC (National Emission Ceilings)-Direktive, welche den EU-Mitgliedsstaaten Obergrenzen für die Emission von Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickoxiden und volatilen organischen Verbindungen setzt, sowie (iii) die ambitionierten Ziele auf nationaler und EU-Ebene hinsichtlich der Treibhausgasvermeidung. Gasförmige N-Emissionen sowie die N-Auswaschung nach Gärrestapplikation stellen die mengenmäßig bedeutendsten Verlustquellen. Weitere Emissionen entstehen am Fermenter und während der Gärrestlagerung (LIEBETRAU et al., 2011).

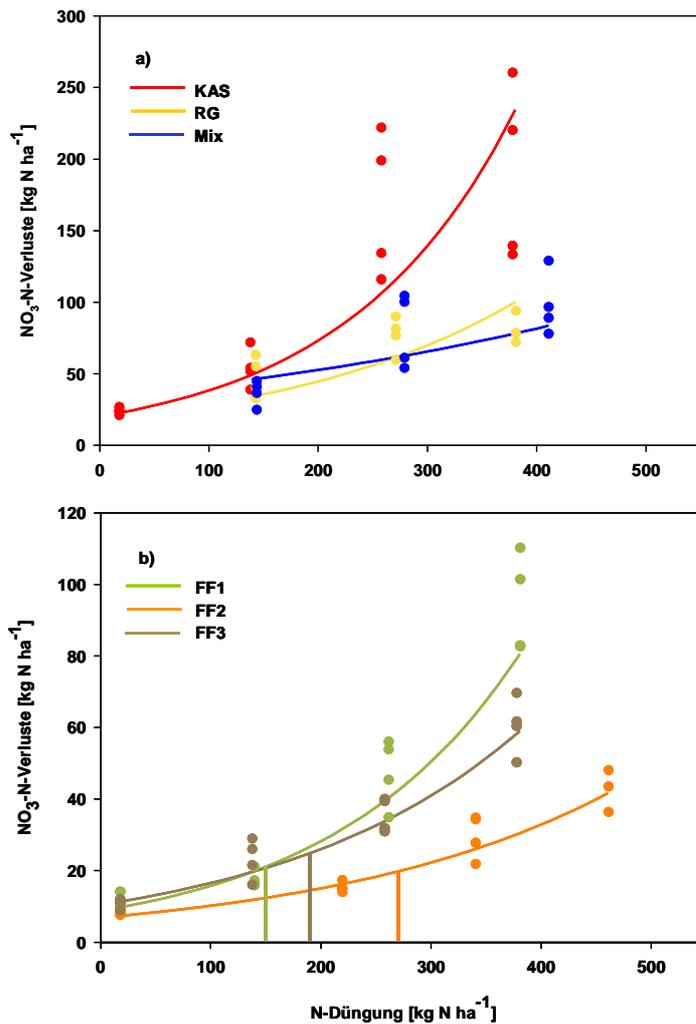


Abb. 3. Nitrat-N-Fracht ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1}$) in Abhängigkeit des Gesamt-N-Inputs (a) in Maismonokultur am Standort Karkendamm für unterschiedliche N-Düngereformen (mineralischer Dünger (KAS), Rindergülle (RG) und Gärrest) in der Auswaschungsperiode 2007/08 mit 36 Beobachtungswochen, und (b) für die Anbausysteme FF1, FF2 und FF3 am Standort Hohenschulen als Mittel über N-Düngereformen und Jahre. Die vertikalen Linien geben das optimale N-Düngungsniveau zur Erreichung maximaler Erträge an (SVOBODA, 2011).

veau auf (Abb. 3b). Bei Überdüngung hingegen stiegen die potenziellen Auswaschungsverluste in der Maismonokultur im Vergleich zu den Fruchtfolgen (FF2 und FF3) stärker an. Am Standort Karkendamm führte der Maisanbau unabhängig vom Düngungsniveau immer zu deutlich höheren Nitratfrachten als die Substratproduktion vom Grünland ($< 5 \text{ kg N ha}^{-1}$). Die flächenbezogene Lachgasemission war unter Mais im Vergleich zu Grünland oder Weizen (Abb. 4a) erhöht, was vermutlich mit höheren Nmin-Werten und höheren Bodenwassergehalten unter Mais insbesondere im späten Frühjahr zu begründen ist (Senbayram, 2009). Diese Relationen ändern sich jedoch bei Bezug der Emissionen auf die Produkteinheit kg TM (Abb. 4b).

Ein Vergleich der im Biogas-Expert Projekt untersuchten Kulturarten und Anbausysteme zeigt, dass Mais aufgrund seiner im Vergleich zu Gras und Weizen geringeren Blattfläche sowie durch die Möglichkeit einer sofortigen Einarbeitung der ausgebrachten Dünger die geringsten NH₃-Emissionen aufwies (Gericke, 2009). Da eine Einarbeitung im Grünland und im Weizen aufgrund der Ausbringung mittels Schleppschlauch nicht möglich war, lagen die NH₃-Emissionen unweigerlich höher als im Mais. Die Emission von Ammoniak nach Gärrestaubsbringung kann durch eine angepasste Applikationstechnik jedoch stark eingeschränkt werden, wie ein weiter führender Versuch am Standort Blumenkoog belegt. So wurde nach Gärrestinjektion im Grünland eine im Vergleich zur Schleppschlauchapplikation verminderte Ammoniakemission festgestellt. Ein Anstieg der Lachgasemission, wie von Wulf et al. (2002) berichtet, konnte nicht bestätigt werden (Herrmann et al., 2012a). Die NO₃-Auswaschung am Standort Hohenschulen wies bei optimaler N-Düngung für alle drei untersuchten Anbausysteme ein ähnliches Niveau auf (Abb. 3b).

Abgesehen von Kulturart/Anbausystem hatte auch die *Düngerart* einen signifikanten Effekt auf die untersuchten Umwelteffekte. Die aus der anaeroben Vergärung resultierenden Veränderungen der Gärresteigenschaften (pH-Wert, $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil) führte zu Veränderungen hinsichtlich des Ammoniakemissionspotentials. Sowohl im Feld-

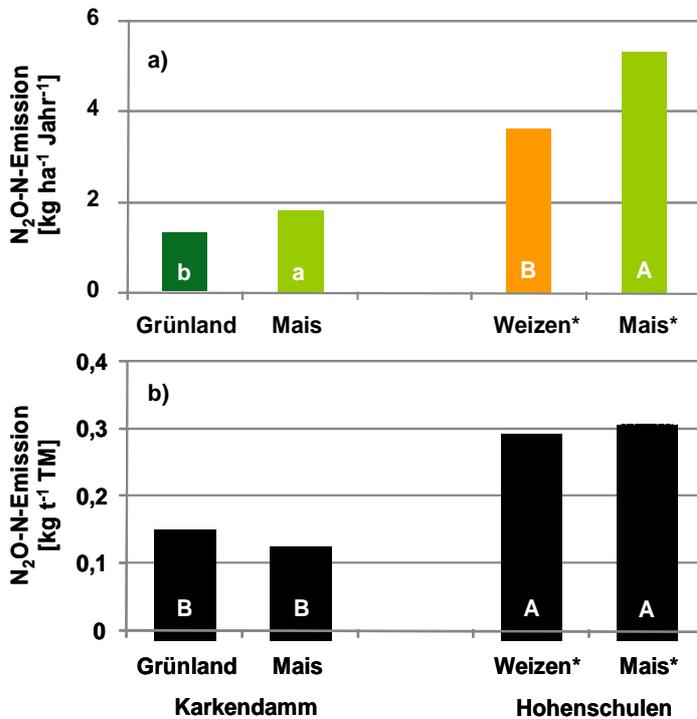


Abb. 4. (a) Mittlere jährliche (März-März) flächenbezogene ($\text{kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$) und (b) mittlere produktbezogene Lachgasemission ($\text{kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ TM}$) in Abhängigkeit von Standort und Kulturart. *inklusive Nachfrucht (SENBAYRAM, 2009).

höchste Ammoniakverluste aus, was auf den höheren pH-Wert des Gärrestes zurückzuführen ist (GERICKE, 2009). Bezüglich der $\text{NO}_3\text{-}$ Auswaschung konnten unter Mais, wie zu erwarten, starke Düngemittelleffekte, mit deutlich höheren Verlusten bei KAS-Düngung im Vergleich zu den organischen Düngern festgestellt werden (Abb. 3a). Unter Grünland hingegen hatte die Düngerform aufgrund der sehr geringen N-Frachten keinen Einfluss auf die Höhe der Verluste. Generell wiesen Gärreste kein höheres Auswaschungsrisiko auf als Güllen tierischer Herkunft (SVOBODA, 2011). Auch bezüglich der kumulierten Lachgasemissionen konnte kein Düngemittelleinfluss abgesichert werden. Allerdings ist von einem höheren Emissionspotenzial der organischen Düngemittel

im Vergleich zu KAS gerade in Kombination mit hohen Bodenwassergehalten auszugehen, da flüssige Dünger tiefer in den Boden infiltrieren und dort eher Denitrifikationsprozessen ausgesetzt sind (SENBAYRAM, 2009).

Standorteffekte bezüglich der NH_3 -Emission waren hauptsächlich auf unterschiedliche Windgeschwindigkeiten zurückzuführen und resultierten in höchsten Emissionen auf dem Marschstandort. Unterschiedliche Bodentexturen führten unter Mais zu großen Standorteffekten bezüglich der Nitrat-N-Austräge, welche bei N-Übersorgung auf bis zu 80 kg N ha^{-1} (HS) bzw. 250 kg N ha^{-1} (KD) anstiegen. Auch die N_2O -Verluste unterschieden sich deutlich im Standortvergleich (Abb. 4), und waren auf dem sandig-lehmigen Standort HS unter Mais bis zu dreifach höher als auf dem Sandstandort KD. Dies ist zurückzuführen auf die höheren Bodenwassergehalte, welche den wichtigsten Prozess bei der Entstehung von N_2O , die Denitrifikation, begünstigen (SENBAYRAM, 2009).

5. Carbon footprint

Die in Biogas-Expert erfassten Daten zur Ertragsleistung, N-Auswaschung und Emission klimarelevanter Gase dienen weiterhin zur Abschätzung des Treibhausgas(THG)einsparpotentials der untersuchten Anbausysteme. Hierbei wurden direkte und indirekte THG-Emissionen resultierend aus der Substratproduktion im Feld, dem Transport und der Lagerung, sowie durch Konversionsverluste, Humusgehaltsänderung im Boden (Annahmen nach VDLUFA) und Methanschlupf an der Biogasanlage berücksichtigt und mit der Freisetzung von THG bei der Erzeugung derselben Energiemenge über fossile Energieträger verglichen. Maismonokultur erzielte im Hügelland und in der Geest bei optimaler N-Versorgung das höchste CO₂-Einsparungspotenzial (Abb. 5). Die höheren Methanhektarerträge der Maismonokultur konnten die negative Humusbilanz sowie die höheren flächenbezogenen N₂O-Emissionen überkompensieren. Eine positive Humusbilanz des Ackergrases (+ 600 kg Humus-C ha⁻¹ Jahr⁻¹) ist ursächlich für ein THG-Einsparpotential, welches auf gleichem Niveau liegt wie Anbausystem FF2, obwohl das Ackergras deutlich geringere Methanhektarerträge realisierte. Organische N-Düngemittel zeichneten sich für die Maismonokultur an beiden Standorten und für das Anbausystem FF2 am Standort HS durch ein höheres THG-Einsparpotential im Vergleich zur mineralischen N-Düngung aus, was auf einen geringeren Energieaufwand und damit verbundene CO₂-Emissionen für die Düngerproduktion zurückzuführen ist. Bei der Nutzung von Ackergras zur Biogaserzeugung war ein umgekehrter Effekt zu beobachten. Die Applikation organischer Dünger führte zu einer geringeren CO₂-Einsparung als eine Mineraldüngung, begründet in der deutlich geringeren N-Düngewirkung und Biomassebildung. Alle dokumentierten CO₂-Einsparpotentiale der Anbausysteme übersteigen, mit Ausnahme von FF2 unter Mineraldüngung (48 %), die ab 2017 von der Biomassekraftstoff- bzw. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnungen geforderten Minderungspotentiale von 50%. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Ertragspotential in der landwirtschaftlichen Praxis um bis zu 20% hinter den Erträgen auf Feldversuchsniveau zurück liegt.

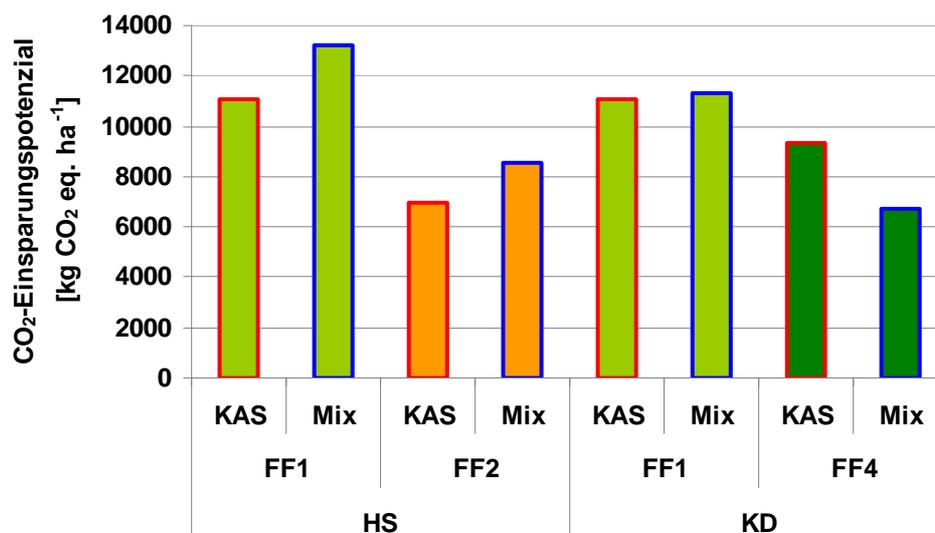


Abb. 5. CO₂-Einsparungspotenzial [kg CO₂ eq. ha⁻¹] bei optimaler N-Versorgung zur Erreichung eines maximalen Netto-Energiegewinns, in Abhängigkeit von Standort und N-Düngengeform, im Mittel über 2 Jahre (CLAUS et al., 2012).

6. Ökonomische Betrachtung

Für die Betreiber von Biogasanlagen ist die ökonomische Bewertung der eingesetzten Kulturpflanzen von großer Bedeutung. Dabei sind nicht Ertragsleistung, Kosten der Substratproduktion u.a. entscheidend, sondern der Kostenanteil für die produzierte Energieleistung (Tab. 1). Für die im Rahmen des Biogas-Expert Projektes geprüften Kulturen Mais, Weizen-GPS und Weidelgras wurde daher eine ökonomische Bewertung vorgenommen. Für die Ertragsleistung ($t\ TM\ ha^{-1}$) wurden durchschnittliche und sehr gute Erträge in Ansatz gebracht, die variablen Kosten sind in Anlehnung an die Kalkulationsdaten der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein dargestellt. Es wird dabei deutlich, dass Mais auf für diese Kultur ertragsstarken Standorten (Mittlerücken Schleswig-Holsteins) die geringsten Kosten pro erzeugter Energieeinheit verursacht. Weizen-GPS und Gras können aus ökonomischer Sicht auf Standorten konkurrieren, auf denen sie ertraglich überlegen sind (bessere Böden, u.a. Marsch).

Tab. 1. Ökonomische Bewertung von Silomais, Weizen-GPS und Weidelgras beim Einsatz in Biogasanlagen.

		Mais		Weizen-GPS		Gras	
Ertrag TM	$t\ ha^{-1}$	14	18	14	16	14	16
TS-Gehalt	%	32	32	35	35	40	40
Ertrag FM		44	56	40	46	35	40
Σ variable Kosten	$\text{€}\ ha^{-1}$	950	1010	860	900	940	1010
	$\text{€}\ t^{-1}\ TM$	67,9	56,1	61,4	56,3	67,1	63,1
Gasertrag (CH ₄)	$l_N\ kg^{-1}\ TM$	350	350	340	340	330	330
	$m^3_N\ ha^{-1}$	4.900	6.300	4.760	5.440	4.620	5.280
Stromertrag (38% WG)	kWh	18.620	23.940	18.088	20.672	17.556	20.064
Kof.kosten	Cent kWh ⁻¹	5.1	4.2	4.8	4.4	5.4	5.0

7. Landschaftsbild - Akzeptanz - Monokultur

In Regionen mit intensiver Rindviehhaltung hat sich der Silomaisanbau, bedingt durch klimatische Veränderungen und Züchtungsfortschritte, in den letzten beiden Jahrzehnten deutlich ausgedehnt und bereits vor Einsetzen des „Biogasbooms“ zu einer Veränderung des Landschaftsbildes geführt. Durch den Anbau als nachwachsender Rohstoff und damit einer weiteren Zunahme des Flächenanteils nimmt die gesellschaftliche Akzeptanz der Kultur ab. Es wird zunehmend in Frage gestellt, ob dieser forcierte Maisanbau den Anforderungen an eine nachhaltige Landbewirtschaftung und damit der guten fachlichen Praxis entspricht. So förderte die zunehmende Monokultur im Laufe der vergangenen Jahre auch die Vermehrung von Fusarien und anderen, Blattkrankheiten auslösenden Erregern (SCHLÜTER, 2012). Die Maisabreife im vergangenen Jahr hat zudem gezeigt, dass sich der Mais neben diesem biotischen Stress auch den extremen Witterungsbedingungen anpassen musste. Blattfleckenanalysen bestätigten, dass auf dem Mais physiologische Blattflecken zu finden waren, denen keine pilzlichen Erreger zugeordnet werden konnten, da der Zelltod aufgrund von Beeinträchtigungen durch äußere Witterungseinflüsse entstan-

den ist. Neben diesem abiotischem Stress konnten auf den Maispflanzen aber auch Bereiche mit pilzlichen Erregern aufgezeigt werden (GRIMME, 2012).

Die skizzierten Entwicklungen erfordern eine Optimierung des Maisanbaus für die Biogaserzeugung aber auch die Rinderfütterung (Fruchtfolgen, Düngung etc.). Entsprechende Empfehlungen wurden unter Beteiligung von Politik, Wissenschaft und Wirtschaft erarbeitet (MLUR, 2012).

8. Schlussfolgerungen

Eine Bewertung von Substratanbausystemen sollte sich nicht nur an ökonomischen Parametern orientieren, sondern muss im Hinblick auf die ambitionierten nationalen und internationalen Klima- und Umweltschutzziele auch potentielle Umwelteffekte berücksichtigen. Dies schliesst auch Auswirkungen direkter und indirekter Landnutzungsänderungen (Grünlandumbruch etc) ein. Angesichts knapper Flächenressourcen (Tank-Teller-Naturschutz-Siedlungsraum) sollte über eine stärkere regionale Priorisierung von Umweltschutzziele (Gewässerschutz, Klimaschutz) nachgedacht und entsprechende Politikinstrumente entwickelt werden.

Literatur

- CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., SENBAYRAM, M., DITTERT, K., TAUBE, F. & HERRMANN, A. (2012): Greenhouse gas balance of bioenergy cropping systems under the environmental conditions of Schleswig-Holstein. *Grassland Science in Europe* 17, 601-603.
- DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM, DBFZ (2011): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/36204.php.
- GERICKE, D. (2009): Measurement and modelling of ammonia emissions after field application of biogas slurries. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- GÖMANN, H. und P. KREINS (2012): Landnutzungsänderungen in Deutschland. In: Tagung des DMK „Nachhaltige Intensivierung – ein neues Paradigma: Konsequenzen für den Maisanbau in Deutschland“, 14. Mai 2012, Osnabrück.
- GRIMME, E., BEWARDER, I., BIRR, T., (2012): Krankheiten und Stress im Mais. *Bauernblatt Schleswig-Holstein* 13, 46 – 49.
- HERRMANN, A., CLAUS, S., KAGE, H. & TAUBE, F. (2012a): Ökobilanzierung der Biogasproduktion in Schleswig-Holstein. Vortrag anlässlich der 62. Öffentlichen Hochschultagung der Agrar- und Ernährungswiss. Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2. Februar 2012, Kiel.
- HERRMANN, A., SIELING, K., WIENFORTH, B., TAUBE, F. & KAGE, H. (2012b): Short-term effects of biogas residue application on yield performance and N balance parameters of maize in different cropping systems. *Journal of Agricultural Science* (in press).
- LIEBETRAU, J., DANIEL-GROMKE, J., REUSCHEL, C., OEHMICHEN, K., CLEMENS, J., HAFERMANN, C., WEILAND, P., FRIEHE, J. (2011): Bewertung klimarelevanter Gase aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf der Basis von Emissionsmessungen. In: KTBL (Ed.) *Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven*. KTBL-Schrift 488, 185-195.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, MLUR (2012): Empfehlungen zur Optimierung des Maisanbaus in Schleswig-Holstein. http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/05_Pflanzenproduktion/001_Maisanbau/Maisanbau_node.html.
- QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., TECHOW, A., HERRMANN, A., TAUBE, F. & KAGE, H. (2011): Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal

Einleitende Vorträge

- marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
Doi:10.1016/j.agee.2011.05.030.
- SCHLÜTER, K., (2012): Mais in Monokultur – Wie lange geht das noch gut? *Bauernblatt Schleswig-Holstein* 13, 44 – 46.
- SENBAYRAM, M. (2009): Greenhouse gas emission from soils of bioenergy crop production systems and regulating factors - The Biogas Expert Project. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- SVOBODA, N. (2011): Auswirkung der Gärrestapplikation auf das Stickstoff-Auswaschungspotential von Anbausystemen zur Substratproduktion. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- TECHOW, A., QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., KAGE, H., TAUBE, F. & HERRMANN, A. (2011): Deutsches Weidelgras in der Biogasproduktion: Beeinflussung des Methanertrages durch Reifegruppe und Schnittregime. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, Band 12, 147-151.
- TOBI, D., HERRMANN, A. & TAUBE, F. (2012): Wie oft Deutsches Weidelgras nutzen? *top agrar* 5/2012, 80-82.
- VOLKERS, K. (2004): Auswirkungen einer variierten Stickstoff-Intensität auf Leistung und Stickstoffbilanz von Silomais in Monokultur sowie einer Ackerfutterbau-Fruchtfolge auf sandigen Böden Norddeutschlands. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- WIENFORTH, B. (2011): Cropping systems for biomethane production: a simulation based analysis of yield potential and resource use efficiency. *Dissertation*, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- WULF, S., MAETING, M. & CLEMENS, J. (2002): Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality* 31, 1795-1801.
- WULFES, R. (2010): Energie aus Biomasse – Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung und der Anbautechnik im Futterbau. 5. Master Class Course Conference „Renewable Energies“, HNE Eberswalde, 30. 11. 2010.

Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung

Florian Schmidt, Dr. Katja Gödeke, Dr. Hans Hochberg

THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT,
Naumburger Straße 98, 07743 Jena
florian.schmidt@tll.thueringen.de

1. Einleitung und Problemstellung

Dauergrünland hat vielfältige Funktionen, die neben der Futterproduktion, vor allem die Erhaltung der Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit, den Wasserschutz und die Produktion von Energie und Sauerstoff umfassen (ELSÄßER, 2006). Zum Teil ist die Erfüllung dieser Funktionen von der Bewirtschaftungsintensität abhängig und manche Funktionen schließen sich auch gegenseitig aus. Futter von extensiv bewirtschafteten Dauergrünlandflächen mit später Nutzung eignet sich z.B. nur bedingt für die Milchviehfütterung. Dies hat die Folge, dass Dauergrünland vor allem in den Mittelgebirgen im unterschiedlichen Ausmaß brach fällt (ELSÄßER, 2006). Der Erhalt von nicht mehr für die Futterbereitstellung benötigtem, aus naturschutzfachlicher Sicht wertvollem Dauergrünland und dessen naturschutzfachlichen Aufgaben, erfordert eine angemessene Nutzung mit einer geringen Nutzungsfrequenz und der Beibehaltung armer bis mittlerer Nährstoffverhältnisse (MAURER UND WAGNER, 2003). Im Verbundprojekt „GNUT-Verbrennung“ wurden fünf naturschutzfachlich wertvolle Dauergrünlandpflanzengesellschaften, die beachtliche Flächenanteile in Deutschland einnehmen, untersucht. Ziel war es, für die Erschließung des energetischen Potenzials durch thermische Verwertung für diese Dauergrünlandpflanzengesellschaften dringend notwendige Erkenntnisse bereitzustellen.

Nachfolgend werden die gewonnenen Ergebnisse im Bezug auf die Verbrennungseignung und die Herstellungskosten vorgestellt.

2. Material und Methoden

Es wurden die folgenden fünf ausgewählten Dauergrünlandpflanzengesellschaften untersucht:

- Schnabelseggenried (*Caricetum rostratae*) in Niedersachsen (Elsfleth),
- Rohrglanzgrasröhricht (*Phalaridetum arundinaceae*) in Brandenburg (Ebereschenhof),
- Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese (*Angelico sylvestris-Cirsietum oleracei*) in Sachsen (Oelsnitz),
- Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese (*Geranio sylvatici-Trisetum flavescens*) in Thüringen (Oberweißbach) sowie
- Pfeifengras-Streuweise (*Molinion caeruleae*) in Bayern (Immenstadt).

Bei der jeweiligen Versuchsanlage handelte es sich um eine randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen pro Variante. Die Varianten unterschieden sich in Abhängigkeit von der Pflanzengesellschaft sowohl in der Schnitthäufigkeit als auch in den Schnittzeitpunkten und der Düngung. In Tab. 1 sind die Schnitthäufigkeit, die Schnitttermine und die Düngung für die jeweiligen Pflanzengesellschaften aufgelistet.

Eine Düngung erfolgte nur bei der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese und dem Rohrglanzgrasröhricht. Bei den 4. Varianten erfolgte eine Beerntung nur aller zwei Jahre. Dazu wurde 2008 bei diesen Varianten ein Räumungsschnitt vorgenommen, um 2010 die zweijährigen Aufwüchse korrekt bewerten zu können. Vor Versuchsbeginn und jedes Jahr wiederholt, erfolgte eine vegetationskundliche Aufnahme der Bestände zur Bewertung des pflanzensoziologischen Erhaltungszustandes.

Für die Bestimmung der Verbrennungseignung wurden die Elementgehalte von Kalium, Stickstoff, Schwefel, Chlor sowie der Ascheerweichungspunkt analysiert. Die Berechnung der Biomasseherstellungskosten erfolgte in Anlehnung an DEGNER (2010). Die grundlegenden Annahmen für die Berechnung der Biomasseherstellungskosten sowie die unterstellten betrieblichen Preise und Richtwerte sind im Endbericht des Verbundprojekts „GNUT-Verbrennung“ (GÖDEKE ET AL. 2011) detailliert aufgelistet.

Tab. 1: Nutzungssysteme der untersuchten Pflanzengesellschaften

Dauergrünland- pflanzengesellschaft	Nutzungs- variante	Schnitthäufigkeit / Schnitttermi- ne*		Düngung (kg ha ⁻¹)		
		1. Schnitt	2. Schnitt	N	P	K
Schnabelseggenried	1	02. Jul.	30. Sept.			
	2	09. Aug.				
	3	30. Sept.				
	4	18. Aug.				
Rohrglanzgrasröhricht	1	13. Jun.	27. Sept.			
	2	13. Jun.	27. Sept.			140
	3	27. Sept.				
	4	28. Sept.				
Waldengelwurz- Kohldistel- Feuchtwiese	1	03. Jul.	01. Okt.			
	2	01. Aug.	24. Okt.			
	3	17. Aug.				
	4	19. Aug.				
Waldstorchschnabel- Goldhaferwiese	1	22. Jun.	07. Sept.	60	20	150
	2	22. Jun.	07. Sept.		20	110
	3	22. Jun.	07. Sept.			
	4	17. Sept.				
Pfeifengras-Streuwiese	1	18. Aug.				
	2	13. Sept.				
	3	17. Jul.	13. Sept.			
	4	17. Sept.				

* Mittel aus drei Versuchsjahren

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten **Trockenmasseerträge** der verschiedenen Varianten und Aufwüchse an den Standorten sind in Abb. 1. dargestellt. Sie lagen in Abhängigkeit vom Standort und der Nutzungsvariante zwischen 2,3 t ha⁻¹ und 15,5 t ha⁻¹. Einen Einfluss der Schnitthäufigkeit auf den TM-Ertrag zeigte sich bei dem Schnabelseggenried und dem Rohrglanzgrasröhricht durch signifikante Mehrerträge der zweischnittigen Varianten gegenüber den einschnittigen Varianten. Dagegen hatte eine höhere Schnitthäufigkeit bei der Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese sowie bei der Pfeifengras-Streuwiese keinen signifikanten Mehrertrag zur Folge.

Kurzvorträge: Sektion Energetische Nutzung

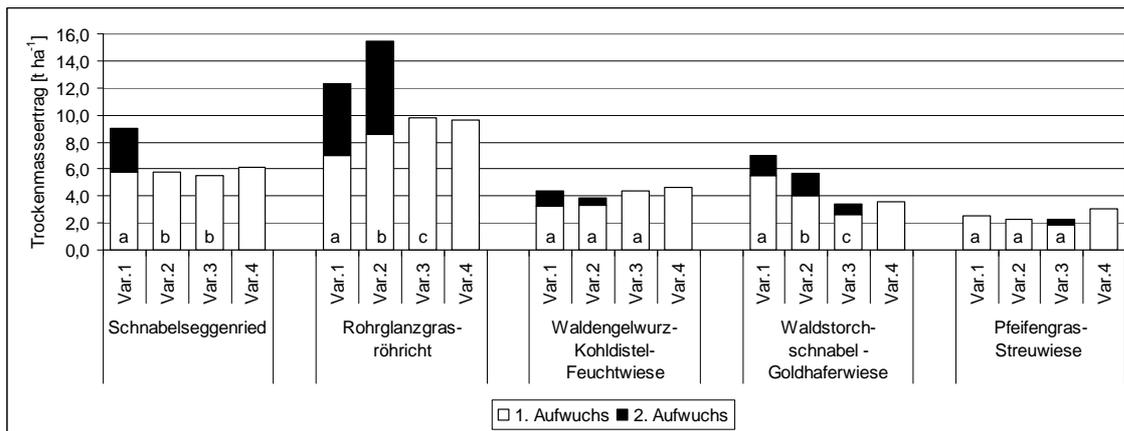


Abb. 1: Trockenmasseerträge der Pflanzengesellschaften (gleiche Buchstaben pro Pflanzengesellschaft bedeuten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten bei $p \leq 0,05$, die vierten Varianten wurden wegen nur einem Erntejahr nicht statistisch verrechnet)

Eine Verzögerung des Schnittzeitpunktes brachte bei keiner Pflanzengesellschaft einen signifikanten Mehrertrag, weder bei den einschnittigen Varianten des Schnabelseggenrieds und der Pfeifengras-Streuwiese, noch bei den zweischnittigen Varianten der Waldengelwurz-Kohldistel-Feuchtwiese. Die Kaliumdüngung der zweischnittigen Variante 2 des Rohrglanzgrasröhrichts hatte auf dem Niedermoorstandort einen signifikanten Mehrertrag zur Folge. Ebenso führten die NPK-Düngung sowie die PK-Düngung bei den Varianten 1 und 2 der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese zu signifikanten Mehrerträgen untereinander als auch im Vergleich zur ungedüngten 3. Variante.

Für die Beurteilung der **Verbrennungseignung** wurden die in Abb. 2 dargestellten, für Korrosion und Emissionen relevanten Elemente Stickstoff, Schwefel, Chlor und Kalium herangezogen und die Gehalte in den untersuchten Pflanzengesellschaften mit Stroh (RÖSCH ET AL. 2007, HERING ET AL. 2008) verglichen.

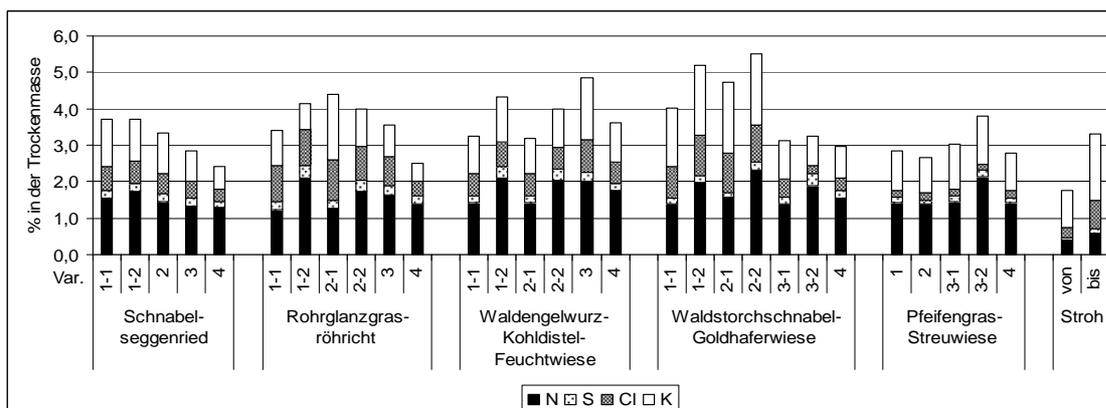


Abb. 2: Gehalte der Elemente Stickstoff, Schwefel, Chlor und Kalium in den Varianten und Aufwüchsen der verschiedenen Pflanzengesellschaften

Gegenüber Stroh wiesen alle Aufwüchse aller Pflanzengesellschaften deutlich höhere **Stickstoffgehalte** auf, auch bei langjährig nicht erfolgter Stickstoff-Düngung. Die ersten Aufwüchse wiesen im Vergleich zu den zweiten Aufwüchsen tendenziell niedrigere Stickstoffgehalte auf, was mit einem Verdünnungseffekt durch die höhere TM-Bildung erklärt werden kann. Dies zeigte sich auch bei der NPK-gedüngten Variante 1 der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese, wo die N-Gehalte gegenüber der Variante 2 niedriger und mit Variante 3 vergleichbar waren.

Die **Kaliumgehalte** lagen im Bereich von Stroh, wobei die Kaliumdüngung sowohl bei dem Rohrglanzgrasröhricht als auch bei der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese zu deutlich höheren Gehalten führte. Die **Chlorgehalte** waren mehrheitlich im Bereich von Stroh, allerdings sorgte die zusätzlich mit der Kaliumdüngung zugeführten Chlorid-Mengen, hauptsächlich bei den entsprechenden Varianten der Waldengelwurz-Goldhaferwiese, zu deutlich erhöhten Chlorgehalten. Die **Schwefelgehalte** lagen bei allen Pflanzengesellschaften um ein Vielfaches höher als in Stroh. Wie bei Stickstoff zeigte sich die Tendenz zu höheren Werten in den 2. Aufwüchsen. Dagegen erhöhte sich bei dem Rohrglanzgrasröhricht durch eine Schwefelzufuhr mit der Kaliumdüngung der Schwefelgehalt in der Biomasse nicht. Durch einen späteren Schnitzeitpunkt bzw. die Ernte nur aller zwei Jahre konnten die Gehalte der relevanten Elemente Stickstoff, Schwefel, Chlor und Kalium leicht gesenkt werden.

Die **Ascheerweichungstemperaturen** (Daten nicht gezeigt) lagen mit Ausnahme des Schnabelseggenrieds teils deutlich über dem entsprechenden Temperaturbereich bei Stroh und somit muss nicht mit erhöhter Verschlackungsgefahr im Vergleich zu Stroh gerechnet werden.

Die **Biomasseherstellungskosten** pro Tonne Erntemenge sind in Abb. 3 dargestellt. Verglichen mit den Herstellungskosten von Stroh in Höhe von 60 € t⁻¹ (BREITSCHUH ET AL., 2006) hatten alle Varianten aller Standorte höhere Herstellungskosten. Die günstigsten Herstellungskosten hatten die Standorte mit den höchsten Trockenmasseerträgen, wobei eine reduzierte Schnitthäufigkeit die Herstellungskosten senken konnte. Die Düngung verteuerte bei dem Rohrglanzgrasröhricht die Herstellung nur gering und bei der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese verringerten sich die Herstellungskosten pro Tonne Erntemenge infolge steigender TM-Erträge.

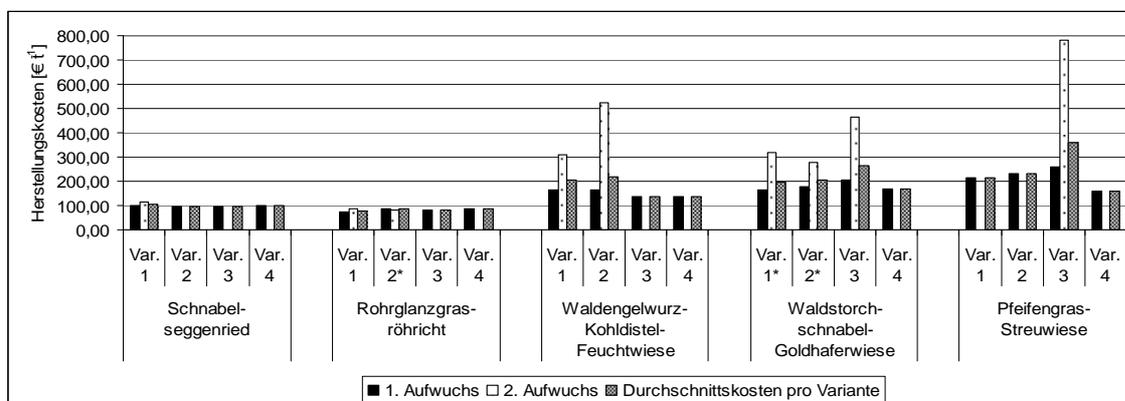


Abb. 3: Biomasseherstellungskosten für die einzelnen Aufwüchse sowie die durchschnittlichen Biomasseherstellungskosten pro Variante (* gedüngte Varianten)

4. Schlussfolgerung

Die zweckmäßigsten Nutzungsvarianten stellen einen Kompromiss aus Erhalt der Pflanzengesellschaft mit minimalem Aufwand, Verbrennungseignung und Ökonomie dar, wobei dem Erhalt der Pflanzengesellschaft Priorität eingeräumt wurde. Im Rahmen des Projekts „GNUT-Verbrennung“ wurden anhand dieser Kriterien die Variante 4 beim Schnabelseggenried, die Variante 2 beim Rohrglanzgrasröhricht, die Variante 3 der Kohldistel-Waldengelwurz-Feuchtwiese, die Variante 2 der Waldstorchschnabel-Goldhaferwiese sowie der Variante 2 der Pfeifengras-Streuwiese als zweckmäßigste Varianten zur thermischen Nutzung dieser Pflanzengesellschaften identifiziert. Bei der Forderung einer mindestens einmaligen jährlichen Nutzung stellt bei dem Schnabelseggenried die Variante 3 eine alternative Nutzungsvariante dar, bei der ebenfalls der Erhalt der Pflanzengesellschaft sichergestellt wird.

Die Verbrennung von Biomasse der Pflanzengesellschaften bei empfohlener Bewirtschaftung ist im Vergleich zu der Strohverbrennung, infolge meist höherer Gehalte verbrennungsrelevanter Inhaltsstoffe mit technisch höherem, anspruchsvollerem Aufwand verbunden, aber praxistauglich möglich. Durch die Sicherstellung des Erhaltes der Dauergrünlandpflanzengesellschaften sind Anpassungsmöglichkeiten bei der Bewirtschaftung des Dauergrünlandes und somit eine anbautechnische Optimierung bei der Biomassebereitstellung kaum möglich.

Das Projekt GNUT-Verbrennung wurde durch das BMELV über die FNR (FKZ 2200-5808 (08NR058) gefördert.

Literatur

- Breitschuh G., Degner J., Reinhold G., Strümpfel J. und Vetter A. 2006: Orientierungspreise für die Bereitstellung von marktfähiger Biomasse zur energetischen Verwertung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena
- Elsässer M. 2006: Nichtproduktionsfunktionen von Dauergrünland. In Möglichkeiten und Grenzen der Ökologisierung der Landwirtschaft. Mitteilungen aus der Biologischen Landesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. S. 81-89.
- Maurer J. und Wagner F. 2003 Studie zur Grasschnittverwertung. PLENUM-Projekt „Studie zur Grasschnittverwertung“ Lkr Reutlingen
http://www.plenum-rt.de/upload/Studien_und_Diplomarbeiten/grassschnitt.pdf
- Degner J. 2010 Betriebswirtschaftliche Richtwerte für die Produktion von Silage, Heu und Weidefutter aus Feldgras (zur Fütterung). Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena.
- Gödeke K., Hochberg H., Hering T., Schmidt F., Lochmann Y., Hochberg E., Jäger U. 2011: Endbericht zum Verbundprojekt „Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die thermische Verwertung“ (GNUT-Verbrennung)
<http://www.tll.de/ainfo/pdf/gnut1211.pdf>
- Rösch C. Raab K., Skarka J. und Stelzer V. 2007: Energie aus dem Grünland - eine nachhaltige Entwicklung? Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft. FZKA 7333
- Hering T., Scheffelowitz M. und Peisker D. 2008: Abschlussbericht des Teilprojektes „Bereitstellung und Analytik von Referenzbrennstoffen“ im Projekt „Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen für Getreide- und Stroh brennstoffe“ des IE gGmbH, Leipzig. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena.

Einfluss der natürlichen Variabilität und zweier Qualitätsoptimierungsstrategien auf die Verbrennungseignung von Extensivgrünland-Aufwüchsen

B. Tonn¹, U. Thumm², W. Claupein²

1: GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,
von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen,

2: UNIVERSITÄT HOHENHEIM, INSTITUT FÜR KULTURPFLANZENWISSENSCHAFTEN (340),
70593 Stuttgart, btonn@uni-goettingen.de

1. Einleitung und Problemstellung

Für die energetische Nutzung spät geschnittener, rohfaserreicher Grünlandaufwüchse, die in der Tierfütterung nur bedingt verwertbar sind, stellt die Verbrennung ein mögliches Konversionsverfahren dar. Umweltrelevante Emissionen bei der Verbrennung und Beschädigung der Feuerungsanlage durch ungünstiges Asche-Hochtemperaturverhalten stellen jedoch Risiken dar, die den Einsatz dieser Aufwüchse in der Verbrennung erheblich einschränken können. Beide Problembereiche stehen in engem Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung der Biomasse: Hohe Asche- und N-Gehalte führen zu erhöhten Staub- und NO_x-Emissionen. Durch Übergang von K und Cl in die Gasphase bei höheren Temperaturen führen hohe Gehalte dieser Elemente zu Verschmutzung und Korrosion des Wärmetauschers. Hohe Anteile von K und niedrige Anteile von Ca und Mg in der Biomasseasche werden darüber hinaus mit niedrigen Ascheschmelzpunkten in Verbindung gebracht, in deren Folge es zur Verschlackung des Brennraums kommen kann (VAN LOO und KOPPEJAN, 2008). Die aufgezählten Prozesse sind je nach Feuerungsanlage von unterschiedlich hoher Relevanz. Bei entsprechender Kenntnis der Einflussfaktoren auf verbrennungsrelevante Qualitätsparameter ist es daher möglich, für spezifische Einsatzzwecke Grünlandaufwüchse ausreichend hoher Brennstoffqualität zu selektieren.

Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie hoch der relative Einfluss von Schnitzeitpunkt, botanischer Zusammensetzung und Standortbedingungen für die beobachtete hohe natürliche Variabilität der Brennstoffqualität von Extensivgrünland-Aufwüchsen ist. Weiter wurde geprüft, ob bei anderen halmgutartigen Biofestbrennstoffen angewandte Qualitätsoptimierungsstrategien das Potenzial haben, auch bei Extensivgrünland-Aufwüchsen die chemische Zusammensetzung zu verbessern. Hierzu wurden die Effekte der z.B. bei *Miscanthus* und Rohrglanzgras angewandten Winterernte sowie der bei Getreidestroh praktizierten Auswaschung unerwünschter Inhaltsstoffe durch Regen während der Feldliegezeit untersucht.

2. Material und Methoden

Die Feldversuche wurden an sechs Extensivgrünland-Standorten in Baden-Württemberg durchgeführt (Tab. 1). Standort IV hatte vor Versuchsbeginn in unregelmäßigen Abständen geringe Mengen an Stallmist erhalten, die anderen Ver-

suchsstandorte waren langjährig ungedüngt. Zur Untersuchung der natürlichen Variabilität der Biomassequalität wurde an allen Standorten an fünf Schnittzeitpunkten (Mitte Juni - Mitte Oktober 2007 in monatlichen Abständen) der erste Aufwuchs geerntet. Eine Fläche von 1 m² wurde von Hand mit einer Schnitthöhe von 7 cm beerntet. Die geerntete Biomasse wurde in die Biomassefraktionen „Gräser“ (*Poaceae*, *Juncaceae*, *Cyperaceae*) und „Kräuter“ (übrige Arten) sortiert. Beide Fraktionen wurden separat analysiert. Zur Ermittlung des Effekts der Winterernte wurden zwei weitere Ernten vorgenommen (Mitte Dezember 2007, Mitte Februar 2008), wobei zu diesen Schnittzeitpunkten die geerntete Biomasse nicht sortiert wurde. Beide Feldversuche wurden an jedem Standort in einer gemeinsamen randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen durchgeführt.

Die Biomasse für die Auswaschungsversuche wurde in den Monaten Juli und September an den Standorten I-V gewonnen. Unbehandelte Biomasseproben wurden mit Proben verglichen, die mit zwei unterschiedlichen Intensitäten mittels einer standardisierten Labormethode ausgewaschen wurden. Hierbei wurden Biomasseproben für 10 bzw. 120 min in wassergefüllten Schüttelflaschen auf einem Laborschüttler behandelt. Vorangegangene Versuche mit simuliertem Regen zeigten, dass die 10-minütige Auswaschung einer Regenmenge von ca. 30-40 mm, die 120-minütige Auswaschung einer Regenmenge von > 70 mm entspricht (TONN *et al.*, 2011).

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte

Nr.	Pflanzengesellschaft	Üblicher Schnittzeitpunkt	Standort ¹	Boden		
				pH	K ₂ O ²	P ₂ O ₅ ²
I	Kalkmagerrasen	Okt./Nov.	410 m ü. NN, 8 °C, 750 mm	7,4	18	1
II	Kalkmagerrasen	Okt./Nov.	525 m ü. NN, 9 °C, 900 mm	7,3	20	1
III	Salbei-Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	435 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	5,9	16	2
IV	Typische Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	520 m ü. NN, 9 °C, 900 mm	7,2	27	2
V	Kohldistel-Glatthaferwiese	Juni/Juli + Aug./Sept.	430 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	5,5	9	5
VI	Großseggenried	nicht geschnitten	435 m ü. NN, 7 °C, 700 mm	6,2	10	4

1: Höhenlage, mittlere Jahresdurchschnittstemperatur, mittlere Jahresniederschlags-summe

2: Pflanzenverfügbare Bodennährstoffgehalte (CAL, in mg/100 g)

Alle Biomasseproben wurden auf ihre Asche-, N-, Cl-, K-, Ca- und Mg-Gehalte analysiert. Für die Proben des Auswaschungsversuchs sowie für 35 repräsentative Proben der beiden Feldversuche wurden zusätzlich die Si-Gehalte bestimmt und das Ascheschmelzverhalten untersucht. Hierzu wurden gemahlene Biomasseproben bei 650 °C verascht und anschließend jeweils 200 mg der so erzeugten Asche in einem Muffelofen für zwei Stunden auf 1000 °C erhitzt. Die erhitzten Ascheproben wurden mit Hilfe eines Stereomikroskops in vier Kategorien eingeteilt (lose, leicht versintert, stark versintert, geschmolzen; siehe TONN *et al.* (2012)). Zur Charakterisierung der Aschezusammensetzung wurden die Verhältnisse K/Asche, Si/Asche,

(Ca+Mg)/Asche berechnet und auf eine Summe von 100 % normalisiert (im Folgenden als K_n , Si_n und $(Ca+Mg)_n$ bezeichnet).

Auf Grundlage einer varianzanalytischen Auswertung der einzelnen Versuche wurden lineare Kontraste zwischen folgenden Gruppen berechnet:

- a) Natürliche Variabilität
 - Schnittzeitpunkt Juni – Schnittzeitpunkt Okt.
 - Biomassefraktion Kräuter – Biomassefraktion Gräser
 - Standort mit maximalem Gehalt – Standort mit minimalem Gehalt
- b) Winterernte
 - Schnittzeitpunkt Okt. – Schnittzeitpunkt Dez.
 - Schnittzeitpunkt Okt. – Schnittzeitpunkt Feb.
- c) Auswaschung
 - Kontrolle – 10 min Auswaschung
 - Kontrolle – 120 min Auswaschung

Die Analyse erfolgte an log-transformierten Daten. Durch Rücktransformierung von der log-Skala werden die berechneten Kontraste als Anteil der ersten Kontrastvariablen ausgedrückt. Zu weiteren Details der Versuchsdurchführung und -auswertung siehe TONN *et al.* (2010, 2011, 2012).

3. Ergebnisse und Diskussion

Von Juni bis Oktober nahmen die K-Gehalte der Grünlandaufwüchse um durchschnittlich 28 % ab und die Ca-Gehalte um 23 % zu (Abb. 1a). Die weiteren untersuchten Inhaltsstoffe wurden durch den Schnittzeitpunkt nur in geringem Maße beeinflusst. Die botanische Zusammensetzung hatte dagegen einen deutlichen Einfluss auf die Biomassequalität. Mit Ausnahme von Cl waren die Gehalte der untersuchten Inhaltsstoffe in Kräutern höher als in Gräsern. Der Unterschied dieser beiden Biomassefraktionen war für Ca und Mg besonders groß und über Standorte und Schnittzeitpunkte hinweg konsistent. Die Cl-, Mg- und K-Gehalte sowie in geringerem Maße die Ca-Gehalte wiesen zusätzlich einen starken Standorteinfluss auf.

Winterernte führte bei allen Aufwüchsen zu einer starken Reduktion der K- und Cl-Gehalte von im Mittel 73-84 % (K) und 78-90 % (Cl). Von den anderen untersuchten Inhaltsstoffen wurde nur Mg in stärkerem Maße reduziert (Abb. 1b). Der Schnittzeitpunkt Februar führte gegenüber dem Schnittzeitpunkt Dezember nur zu geringen qualitativen Änderungen, war aber mit deutlich höheren Biomasseverlusten verbunden (TONN *et al.*, 2008). Auswaschung reduzierte ebenfalls vor allem K- und Cl-Gehalte (Abb. 1c). Eine mit dem Effekt der Winterernte vergleichbare Reduktion trat jedoch erst nach 120-minütiger Auswaschung auf. Bei der 10-minütigen Auswaschung, die eher der unter Feldbedingungen realisierbaren Auswaschungsintensität entspricht, wurden die K-Gehalte im Mittel um 30 %, die Cl-Gehalte um 45 % reduziert.

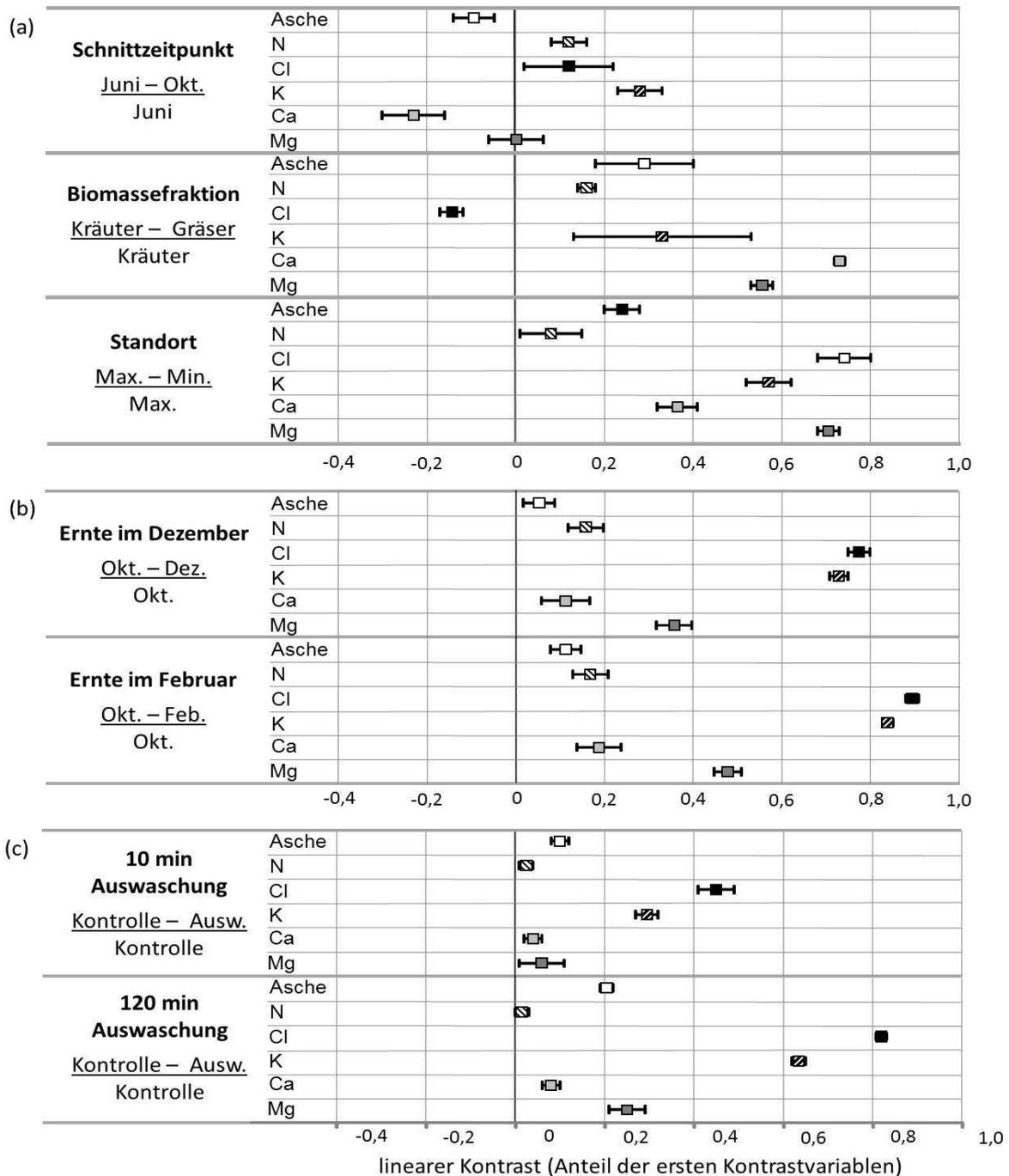


Abb. 1: Einfluss (a) der natürlichen Variabilität sowie der Qualitätsoptimierungsverfahren (b) Winterernte und (c) Auswaschung auf die Gehalte von Asche und verbrennungsrelevanten Elementen in Grünlandaufwüchsen. Lineare Kontraste der log-transformierten Parameter, ausgedrückt als Anteil der ersten Kontrastvariablen. Fehlerbalken: Vertrauensintervall ($\alpha=0,05$).

Unter den zwischen Juni und Oktober geernteten Varianten traten sowohl unter den Gräsern als auch unter den Kräutern bei 1000 °C vollständig geschmolzene Ascheproben auf, während die Asche der im Dezember und Februar geernteten Proben als „lose“ klassifiziert wurde (Abb. 2a). Die Stärke des beobachteten Ascheschmelzens stand dabei im Zusammenhang mit den K_n -Gehalten. Für den Verbrennungsprozess potenziell problematische stark versinterte oder geschmolzene Proben traten nur bei

Werten von $K_n > 26\%$ auf. Die Reduktion der K-Gehalte durch Auswaschung führte dem entsprechend ebenfalls zu einer Verbesserung des Ascheschmelzverhaltens (Abb. 2b).

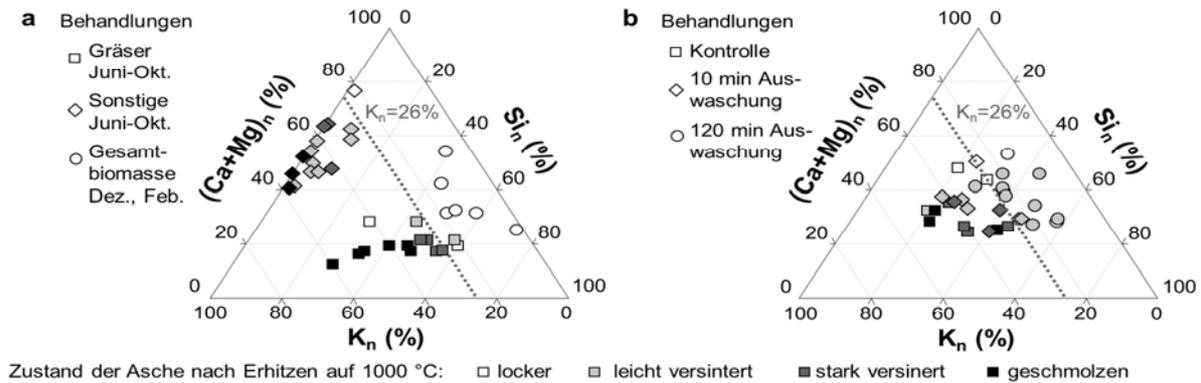


Abb. 2: Zustand der Asche nach Erhitzen auf 1000 °C in Abhängigkeit von den normalisierten Konzentrationen von K, Si und Ca+Mg. (a) Ergebnisse des Feldexperimentes, (b) Auswaschungsversuche.

4. Schlussfolgerungen

Asche- und N-Gehalte wiesen eine geringe natürliche Variabilität auf und wurden weder durch Winterernte noch durch Auswaschung in relevantem Maß reduziert. Extensivgrünland-Aufwüchse sind daher nur für den Einsatz in Verbrennungsanlagen geeignet, die technische Vorrichtungen zur Reduktion von Staub- und NO_x -Emissionen aufweisen (z.B. Luftstufung und leistungsfähige Filter (VAN LOO und KOPPEJAN, 2008)). Die für das Asche-Hochtemperaturverhalten bedeutenden K-, Cl-, Ca- und Mg-Gehalte weisen dagegen eine hohe natürliche Variabilität auf, die wesentlich durch botanische Zusammensetzung und Standortfaktoren beeinflusst wird. Dies bietet die Möglichkeit, je nach Art der Feuerungsanlage gezielt geeignete Extensivgrünland-Aufwüchse auszuwählen. Sowohl Winterernte als auch Auswaschung durch Niederschläge während der Feldliegezeit können geeignete Qualitätsoptimierungsstrategien zur weiteren Verbesserung des Asche-Hochtemperaturverhaltens von Extensivgrünland-Aufwüchsen darstellen.

Literatur

- TONN, B., THUMM, U. und CLAUPEIN, W. (2008): Späte Schnitzeitpunkte von Extensivgrünland – eine Strategie zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Biofestbrennstoffe aus der Landschaftspflege? *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 9, 293-296.
- TONN, B., THUMM, U. und CLAUPEIN, W. (2010): Semi-natural grassland biomass for combustion – influence of botanical composition, harvest date and site conditions on fuel composition. *Grass and Forage Science* 65, 383-397.
- TONN, B., DENGLER, V., THUMM, U., PIEPHO, H.-P. und CLAUPEIN, W. (2011): Influence of leaching on the chemical composition of grassland biomass for combustion. *Grass and Forage Science* 66, 464-473.
- TONN, B., THUMM, U., LEWANDOWSKI, I. und CLAUPEIN, W. (2012): Leaching of biomass from semi-natural grasslands – effects on chemical composition and ash high-temperature behavior. *Biomass and Bioenergy* 36, 390-403.
- VAN LOO, S. und KOPPEJAN, J. (Hrsg., 2008): *The handbook of biomass combustion and co-firing*. London, UK: Earthscan.

Methanertragspotenzial von Grünlandbeständen bei unterschiedlicher Intensität der Schnittnutzung

K. Schmalzer, G. Barthelmes

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN, FACHGEBIET ACKER- UND PFLANZENBAU,
Invalidenstraße 42, 10115 Berlin, E-Mail: katrin.schmalzer@agrar.hu-berlin.de
LANDESAMT FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG
BRANDENBURG, REFERAT ACKERBAU UND GRÜNLAND, GÜTERFELDE,
Stahnsdorfer Damm 1, 14532 Stahnsdorf

1. Einleitung und Problemstellung

Mais ist wegen seines hohen Trockenmasse- und Methanertragspotenzials, seiner bekannten Produktionstechnik sowie guten Silierbarkeit und Wirtschaftlichkeit das dominierende Kosubstrat in der Biogaserzeugung. Da sein Anbau deswegen zunimmt, wird befürchtet, dass sich dies negativ auf abiotische und biotische Umweltfaktoren wie Bodenfruchtbarkeit, Gewässerstatus, Schaderregerauftreten und Biodiversität auswirkt. Daher werden möglichst gleichwertige Alternativen zur Ergänzung des Maisanbaus gesucht. Aus Sicht der zunehmenden Flächenkonkurrenz auf dem Ackerland sollte auch Grünland in die Überlegungen einbezogen werden, zumal hierfür ein Erhaltungsgebot besteht und insbesondere bei geringem Viehbesatz und in Marktfruchtbetrieben Verwertungsmöglichkeiten für vorhandenes Grünland gesucht werden.

Vor diesem Hintergrund wurden in dem Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (Förderung durch das BMELV über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., www.eva-verbund.de) in den Jahren 2009 bis 2011 Grünlandbestände bei unterschiedlicher Intensität der Schnittnutzung an Standorten in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thüringen und Bayern geprüft. Dabei sollte die Frage beantwortet werden, welche Grünlandbestände sich unter den gegebenen Standortbedingungen in den Kriterien Trockenmasseertrag, spezifischer Methanertrag und Ausdauer am besten für die energetische Nutzung in Biogasanlagen eignen.

2. Material und Methoden

Am Projektstandort Berge (Land Brandenburg, mittel lehmiger Sand, Ackerzahl 40, fakultativer Grünlandstandort) wurden im Frühjahr 2008 Grünlandmischungen und Gräser mit dem Saatpartner Sommergerste etabliert (Tab. 1) und deren Trockenmasse- und Methanerträge im Vergleich zu einer Altnarbe in den Nutzungsjahren 2009 bis 2011 bei unterschiedlicher Nutzungsintensität ermittelt.

Als Versuchsanlage wurde eine zweifaktorielle Streifenanlage mit vier Wiederholungen gewählt, mit den Prüffaktoren Grünlandbestände (Faktor A) und deren Nutzungsintensität (Faktor B). Der Nutzungstermin des ersten Aufwuchses wurde ab erstem Nutzungsjahr (2009) nach Entwicklungsstadium variiert (früher erster Schnitt zum Ende des Schossens der Gräser bzw. später erster Schnitt zum Ende des Ähren-/Rispschiebens der Gräser). Bei einem Unterschied von drei Wochen im Ter-

min des ersten Schnittes ergab sich eine Staffelung der Schnitthäufigkeit von vier bis fünf Schnitten gegenüber drei Schnitten je Nutzungsjahr.

In den Nutzungsjahren wurden die N-Gaben in 60, 70, 60 und 50 kg ha⁻¹ bei 4- bis 5-Schnittnutzung bzw. in 60, 70 und 60 kg ha⁻¹ bei 3-Schnittnutzung aufgeteilt.

Tab. 1: Zusammensetzung der Grünlandbestände und Saatstärken (Faktor A)

Faktorstufen	Saatstärken (kg ha ⁻¹)
Gräsermischungen (G II bzw. G II mit Weißklee)	
1 <i>Lolium perenne</i> / <i>Festuca pratensis</i> / <i>Phleum pratense</i> / <i>Poa pratensis</i>	15/6/6/3
2 <i>L. perenne</i> / <i>F. pratensis</i> / <i>Phleum pratense</i> / <i>Poa pratensis</i> / <i>Trifolium repens</i>	14/6/5/3/3
Gräser in Reinsaat	
3 <i>Dactylis glomerata</i>	30
4 <i>Festuca arundinacea</i>	30
Altnarbe	
5 <i>Lolium perenne</i> / <i>Dactylis glomerata</i> / <i>Trifolium repens</i>	

Die Kalkulation der potenziellen Methanerträge ergab sich aus dem Trockenmasseertrag und den spezifischen Methanausbeuten (WEILAND, 2001). Die dafür benötigten Parameter der Weender Analyse wurden nasschemisch bestimmt. Zusätzlich wurde zur Bewertung der Substratqualität der ADL-Gehalt ermittelt (Gemeinschaftslabor Analytik der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin).

Im Gegensatz zu den Nutzungsjahren 2009 und 2010 mit geringen Niederschlägen im April und längeren Trockenperioden in den Sommermonaten lag im Jahr 2011 mit Niederschlägen von 456 mm von Mai bis September ein überdurchschnittlich hohes Wasserangebot vor (Tab. 2).

Tab. 2: Niederschlagssummen (mm) in den Jahren sowie in den Monaten April bis September (2009 bis 2011) im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten am Standort Berge

Jahr	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Mai bis September	Jahr
2009	1,1	48,6	45,8	48,5	17,4	22,9	183,2	461,8
2010	6,8	114,6	17,7	24,9	83,2	87,9	328,3	529,9
2011	32,0	51,9	101,1	202,5	62,3	38,4	456,1	656,0
Mittel 1961-1990	35,4	49,1	60,2	49,8	53,3	40,0	252,4	502,8

3. Ergebnisse und Diskussion

Die jährlichen Trockenmasseerträge der Grünlandmischungen und Gräser variierten in Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot sehr stark und lagen im Bereich von 3,8 bis 14,5 t ha⁻¹ (Tab. 3). Besonders die Trockenperioden im April und in den Sommermonaten der ersten beiden Nutzungsjahre wirkten sich ungünstig auf die Ertragsbildung aus. In den Jahren 2009 und 2010 konnte nur maximal viermal geschnitten werden. Einige Sommer- und Herbstaufwüchse der Gräser waren unter diesen Bedingungen mit Trockenmasseerträgen von weniger als 1 t ha⁻¹ nicht schnittwürdig. Nur bei hohem Niederschlagsangebot im Jahre 2011 konnten alle Bestände planmäßig fünf- bzw. dreimal genutzt werden.

Tab. 3: Trockenmasseerträge (t ha⁻¹) in den Jahren 2009 bis 2011

Prüfglieder	1. Nutzungsjahr	2. Nutzungsjahr	3. Nutzungsjahr
Früher 1. Schnitt			
1 G II	8,2 ^c	9,4 ^a	9,2 ^b
2 G II mit Weißklee	8,6 ^c	9,2 ^a	9,6 ^{bc}
3 <i>Dactylis glomerata</i>	7,0 ^b	11,1 ^{ab}	12,5 ^d
4 <i>Festuca arundinacea</i>	3,8 ^a	9,8 ^a	9,8 ^{bc}
5 Altnarbe	5,7 ^b	13,4 ^c	9,8 ^{bc}
Später 1. Schnitt			
1 G II	9,0 ^c	9,6 ^a	7,6 ^a
2 G II mit Weißklee	10,1 ^d	10,5 ^{ab}	8,6 ^{ab}
3 <i>Dactylis glomerata</i>	8,5 ^c	12,0 ^{bc}	11,9 ^d
4 <i>Festuca arundinacea</i>	6,0 ^b	10,1 ^a	10,8 ^c
5 Altnarbe	5,9 ^b	13,6 ^c	14,5 ^e

Werte innerhalb eines Nutzungsjahres unterscheiden sich bei gleichen Buchstaben nach dem Newman-Keuls-Test bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 0,05$ nicht signifikant voneinander.

In allen Jahren, besonders aber nach den Kahlfrösten von Mitte Februar bis Anfang März 2011, traten in den G II-Mischungen Auswinterungsschäden bei Deutschem Weidelgras auf. Dadurch wurden die signifikant höheren Erträge der G II-Mischung (mit und ohne Weißklee) gegenüber Knautgras und Rohrschwengel sowie der Altnarbe aus dem ersten Nutzungsjahr in den folgenden Jahren nicht bestätigt. Die Altnarbe sowie Knautgras und Rohrschwengel waren weniger von Auswinterungsschäden betroffen und erreichten jeweils deutlich höhere Erträge als im ersten Nutzungsjahr. Die Grünlandmischungen und Gräser reagierten im ersten und dritten Nutzungsjahr im Trockenmasseertrag signifikant auf die Intensität der Nutzung. Ebenso ergaben sich in diesen Jahren signifikante Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Grünlandbeständen und deren Nutzungsintensität. Diese Unterschiede standen in Beziehung zu den Veränderungen in der Bestandeszusammensetzung. Die Ertragsanteile von Deutschem Weidelgras und Weißklee nahmen in den Grünlandmischungen sowie in der Altnarbe vom ersten bis zum dritten Nutzungsjahr deutlich ab. Dies war auf die Auswinterung des Deutschen Weidelgrases, die Verdrängung des Weißklees infolge der mineralischen N-Düngung und die Zunahme der Ertragsanteile von Knautgras in der Altnarbe zurückzuführen. Die Grünlandmischung mit Weißklee sowie Knautgras und Rohrschwengel erreichten bei geringerer Schnitthäufigkeit im ersten Nutzungsjahr 2009 und die Altnarbe im Jahr 2011 jeweils höhere Trockenmasseerträge als bei häufigerem Schnitt. Die anderen Grünlandbestände wiesen in diesen Jahren in beiden Nutzungsregimen jeweils ähnlich hohe Trockenmasseerträge auf. Eine Ausnahme bildete die Grünlandmischung G II, die im dritten Nutzungsjahr bei höherer Schnitffrequenz bessere Trockenmasseerträge erreichte. Aus Untersuchungen zum mehrjährig genutzten Ackerfutter am Standort ist bekannt, dass vor allem Leguminosengras bei hohem Ertragsanteil der Leguminosen auf eine geringere Anzahl von Schnitten je Jahr häufig mit höheren Trockenmasse- und Methanerträgen reagiert (SCHMALER und BARTHELMES 2011, SCHMALER und NEUBERT 2009). Die für die Trockenmasseerträge dargestellten Relationen zwischen den verschiedenen Grünlandmischungen und Gräsern und deren Nutzungsintensität bestätigten sich für die potenziellen Methanerträge. Diese erreichten in den Nutzungsjahren 1000 bis 4000 Nm³ ha⁻¹. Sie sind in Abb.1 in Abhängigkeit von den Trockenmasseerträgen dargestellt.

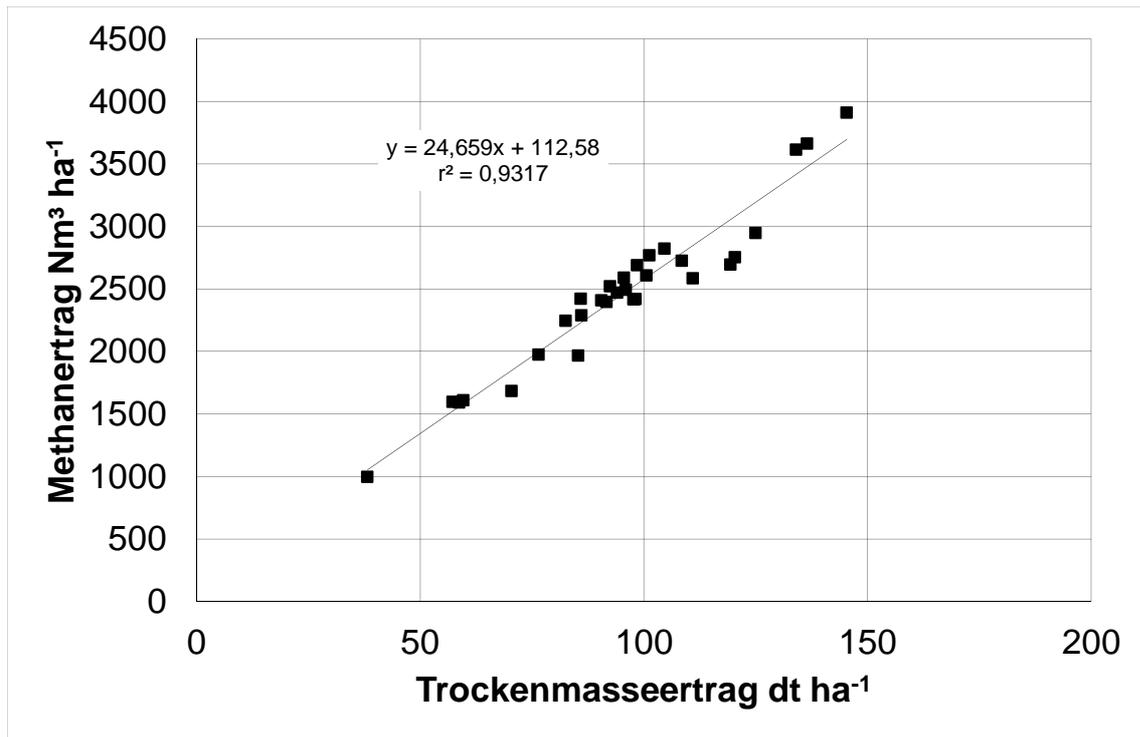


Abb. 1: Potenzielle Methanerträge in Abhängigkeit von den Trockenmasseerträgen in den Jahren 2009 bis 2011

Die spezifische Methanausbeute der Grünlandaufwüchse lag im Bereich von 247 bis 325 Normliter je kg organischer Trockenmasse. Rohrschwengel und Knaulgras wiesen geringere spezifische Methanausbeuten auf als die Grünlandmischung G II. Der frühe Schnitt des ersten Aufwuchses führte gegenüber dem späten Schnitt zu höheren Methanausbeuten, die in den Folgeaufwüchsen abnahmen. Die ADL-Gehalte verdeutlichen die Unterschiede in der Substratqualität der verschiedenen Grünlandaufwüchse (Tab. 4). Die spätere Nutzung des ersten Aufwuchses bewirkte bei allen gepflügten Grünlandmischungen und Gräsern einen Anstieg des ADL-Gehaltes.

Tab. 4: ADL-Gehalte (g kg⁻¹ TM) im Mittel der Jahre 2009 bis 2011

Prüfglieder	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs	4. Aufwuchs	5. Aufwuchs
Früher 1. Schnitt					
1 G II	15	27	28	33	37
2 G II mit Weißklee	18	35	34	28	27
3 <i>Dactylis glomerata</i>	28	28	33	39	33
4 <i>Festuca arundinacea</i>	19	38	32	27	24
5 Altnarbe	22	29	35	30	27
Später 1. Schnitt					
1 G II	31	31	32		
2 G II mit Weißklee	33	42	34		
3 <i>Dactylis glomerata</i>	46	37	41		
4 <i>Festuca arundinacea</i>	38	33	31		
5 Altnarbe	39	34	34		

4. Schlussfolgerungen

Das Methanertragspotenzial von Grünland lag am Standort in Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot bei 1000 bis 4000 Nm³ ha⁻¹. Die Grünlandmischung G II wies aufgrund der stärkeren Auswinterungsneigung des Deutschen Weidelgrases nur im ersten Nutzungsjahr Vorteile in den Methanerträgen gegenüber Knautgras und Rohrschwengel sowie der Altnarbe auf. Die höchsten Trockenmasse- und Methanerträge wurden im Jahr 2011 von der Altnarbe erreicht (später erster Schnitt, drei Schnitte im Jahr).

Mit einer späten ersten Nutzung von Grünlandaufwüchsen für die Biogasproduktion wird das Ziel verfolgt, die Anzahl der Schnitte zu reduzieren und damit den Kostenaufwand in der Grünlandnutzung zu senken. Gegenüber einer höheren Schnitthäufigkeit werden höhere Trockenmasseerträge erreicht, wobei allerdings gleichzeitig der ADL-Gehalt in den Aufwüchsen ansteigt und die spezifische Methanausbeute sinkt. So genutztes Grünland liefert günstige Methanerträge bei geringeren bis mittleren spezifischen Methanausbeuten und eignet sich damit als Kosubstrat für die Biogaserzeugung. Methanausbeuten von über 325 Normliter je kg organischer Trockenmasse können Grünlandbestände meist nur im ersten Aufwuchs erreichen, der spätestens bis zum Beginn des Ähren- bzw. Rispschiebens der Gräser genutzt werden muss und hohe Ertragsanteile von Deutschem Weidelgras aufweist. Zeitig genutzte erste Grünlandaufwüchse hoher Futterqualität sollten der Milchviehfütterung vorbehalten bleiben. Für Gemischtbetriebe kommt die kombinierte Futter- und Biogasnutzung des Grünlandes in Frage, weil die Folgeaufwüchse der Sommer- und Herbstmonate im Vergleich zum ersten Aufwuchs schlechtere Futterqualitäten liefern, aber bei reduzierter Nutzungsintensität akzeptable Trockenmasse- und Methanerträge für die Biogaserzeugung bieten, was ökonomisch vorteilhaft sein kann.

Literatur

SCHMALER, K. und BARTHELMES, G. (2011): Ertrag von mehrschnittigem Ackerfutter im Energiepflanzenanbau in Abhängigkeit vom Alter der Pflanzenbestände. Kalzendorf, C. und Riehl, G. (eds). Nachhaltigkeit in der intensiven Futtererzeugung. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 12, 140-146.

SCHMALER, K. und NEUBERT, K. (2009): Nutzung des mehrschnittigen Ackerfutters im Energiepflanzenanbau auf verschiedenen Standorten in Brandenburg. In: Berendonk, C. und Riehl, G. (eds). Futterbau und Klimawandel: Grünlandbewirtschaftung als Senke und Quelle für Treibhausgase. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 10, 105-108.

WEILAND, P. (2001): Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. In: VDI-Berichte Nr. 1620, Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven, VDI-Verlag, Düsseldorf, 19-32.

www.eva-verbund.de.

Spezifische Nutzungsintensität von Dauergrünland zur Biogasnutzung

Messner, J., Nussbaum, H. und Elsaesser, M.

LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM FÜR RINDERHALTUNG, GRÜNLANDWIRTSCHAFT,
MILCHWIRTSCHAFT, WILD UND FISCHEREI BADEN-WÜRTTEMBERG (LAZBW),
D-88326 Aulendorf, joerg.messner@lazbw.bwl.de

1. Einleitung

In den frühen 2000er Jahren nahm die Zahl der Milchkühe in Baden-Württemberg deutlich ab. Es drängte sich die Frage auf, wie das überschüssige Grünland genutzt werden kann. Das LAZBW legte deshalb einen Versuch mit dem Titel „Zweimal schneiden und was dann?“ an, noch bevor der Biogasboom begann (ELSAESSER, 2007). Aufgrund der hohen Vergütungssätze im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) für die Stromeinspeisung aus Biogas errichteten ab 2004 viele Landwirte Biogasanlagen. Ende 2011 waren in Baden-Württemberg nahezu 800 Biogasanlagen in Betrieb. Fast alle Anlagenbetreiber setzten neben Gülle und Festmist aus der Tierhaltung pflanzliche Biomasse vom Acker oder Grünland als Substrat ein. Der häufigste Einsatzstoff ist Silomais, da dieser die meisten Vorteile in sich vereint. Allerdings spielt Grassilage in vielen Regionen Baden-Württembergs für die Biogaserzeugung ebenfalls eine wichtige Rolle. Für eine erfolgreiche Milchviehfütterung sind sehr gute Futterqualitäten essentiell. Deshalb ist eine intensive Nutzung und häufiger Schnitt erforderlich. Ob die Biogasanlagen die gleichen Ansprüche haben ist noch zu klären, da die Verweilzeit im Fermenter sehr lang ist, so dass auch schwer abbaubare organische Masse ebenfalls genutzt werden kann. Dementsprechend erscheint die Reduktion der Schnitffrequenz eine mögliche Nutzungsstrategie von Dauergrünland zu sein, um Arbeitszeit und Kosten zu sparen.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde auf einer Dauergrünlandfläche am LAZBW Aulendorf angelegt (590 m ü.NN., durchschnittlich 1.000 mm Jahresniederschlag und 8,4°C Durchschnittstemperatur) und von 2003 bis 2008 durchgeführt. Es wurden vier unterschiedliche Behandlungen verglichen, angelegt in 25m² Versuchsflächen mit jeweils 4 Wiederholungen (Tabelle 1). Die Botanische Zusammensetzung, der Trockenmasseertrag, die Futterqualität (Energiegehalt, Rohprotein, Rohfaser und spezifischer Methanertrag) und die Siliereignung wurden untersucht. Das Methanbildungspotential wurde mit dem „Hohenheimer Biogasertragstest“ (HBT) ermittelt. Die Gasertragsmessungen wurden nur für die Jahre 2006 - 2008 durchgeführt.

Bei den Varianten 3 und 4 wurde der letzte Schnitt gemulcht, allerdings wurden von diesem Schnitt ebenfalls die gleichen Parameter untersucht wie von den restlichen Schnitten. Deshalb muss betont werden, dass in der Praxis diese Aufwüchse nicht für die Nutzung zur Verfügung stehen, bzw. ein Abfahren dieser Schnitte vermutlich zu veränderten Ergebnissen geführt hätte.

Tabelle 1. Beschreibung der Versuchsvarianten

Behandlung	Schnittfrequenz	Menge und Aufteilung der N-Düngung (kg ha ⁻¹)
V1 Kontrolle	5 Mal pro Jahr	250 (60/60/60/50/20)
V2 Früher Schnitt und Ernte	2 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni und später 3. Schnitt im September)	120 (60/60/0/0/0)
V3 Früher Schnitt und Mulchen	2 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni und spätes Mulchen des 3. Aufwuchses im September)	160 (80/80/0/0/0)
V4 Früher Schnitt und Mulchen	3 frühe Schnitte (Anfang Mai, Mitte Juni, Ende Juli und spätes Mulchen des 4. Aufwuchses im Oktober)	120 (60/40/20/0/0)

3. Ergebnisse und Diskussion

Bezüglich des Trockenmasseertrages und des Energieertrages wurden signifikante Unterschiede beobachtet. Generell lag der Stickstoffzug in allen Varianten deutlich über der jeweiligen Stickstoffdüngung. Große Unterschiede konnten in der Energiedichte festgestellt werden, mit einem starken Abfall beim 3. und 4. Schnitt. Bezüglich des Energieertrages scheint es, dass die Reduktion der Schnittfrequenz eindeutige Effekte hervorruft. Mit der üblichen Bewirtschaftungsweise von 5 Schnitten konnte der höchste Energieertrag erzielt werden, aber die Variante drei Schnitte mit einem späten Mulchschnitt zeigte ebenfalls gute Ergebnisse bei gleichzeitiger Einsparung von N-Düngungsbedarf und Arbeitszeit.

Die höchste Nutzungsintensität erbrachte in dem Versuch auch den höchsten N-Ertrag je ha. Das in Grasaufwüchsen enthaltene Rohprotein bringt allerdings keinen Nutzen für die Biogasanlage, für die Milchkuh hingegen sehr wohl. Biogas besteht weitestgehend aus den beiden Fraktionen Methan (CH₄) und Kohlendioxyd (CO₂). Somit wird beim Abbau von Eiweiß lediglich der Kohlenstoff entzogen, der Stickstoff verbleibt im Fermenter bzw. im Gärrest. Somit kann sich durch die Zufuhr von viel eiweißreichen Substraten im Fermenter Stickstoff anreichern. Bei hohen Ammonium-N-Gehalten (NH₄) im Fermenter wird Ammoniak frei, das als Zellgift wirkt und somit die mikrobielle Aktivität hemmen kann. Bei NH₄-Gehalten von mehr als 4 kg /m³ können Hemmungen auftreten, die Mikroorganismen sind aber in der Lage sich an höhere Konzentrationen zu adaptieren. Durch Verdünnen (Substratmix, Flüssigkeitszugabe) oder Prozesshilfsmittel, die Ammoniak binden, kann einer Hemmung entgegen gewirkt werden (GRONAUER ET. AL 2009).

Bezüglich der Siliereignung zeigte sich, dass der späte dritte Schnitt in Variante 2 aufgrund des hohen Rohfasergehaltes bei gleichzeitig geringem Zuckergehalt Probleme verursachen kann. Die Silage enthielt etwas Buttersäure, aber der pH-Wert war niedrig genug, so dass die Silage anaerob stabil war.

Tabelle 2: Mittlere Erträge an Trockenmasse, Nettoenergie und Stickstoffabfuhr jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (Mittel 2004 - 2008) (gleiche Buchstaben = n.s. bei $P < 0.05$)

Variante	Trockenmasse ($t\ ha^{-1}$)		Energie (NEL $MJ\ ha^{-1}$)		N Ertrag ($kg\ ha^{-1}$)	
	Mit Mulch-schnitt	Ohne Mulchschnitt	Mit Mulch-schnitt	Ohne Mulchschnitt	Mit Mulch-schnitt	Ohne Mulchschnitt
1	11,48 a	11,48 a	69.667 a	69.667 a	321,6 a	321,6 a
2	10,08 b	10,08 b	58.440 b	58.440 b	239,5 c	239,5 b
3	11,48 a	7,93 d	65.263 a	47.086 c	277,1 b	204,2 c
4	11,53 a	9,35 c	67.849 a	55.501 b	293,7 b	236,0 b
LSD	0,97	0,56	5.711	3.208	17,4	16,1

Die Variante 2 führte gegenüber der Variante 1 zu einem signifikant geringeren Trockenmasseertrag. Tabelle 3 zeigt, dass unter Berücksichtigung aller Schnitte (auch den Mulchschnitten in Variante 3 und 4) in dieser Variante auch der Methanertrag tendenziell am geringsten ist. Allerdings lässt sich dies nicht immer signifikant gegenüber den anderen Varianten absichern. Abbildung 1 zeigt, dass ein sehr enger Zusammenhang zwischen dem Ertrag an organischer Trockenmasse und an Methan besteht.

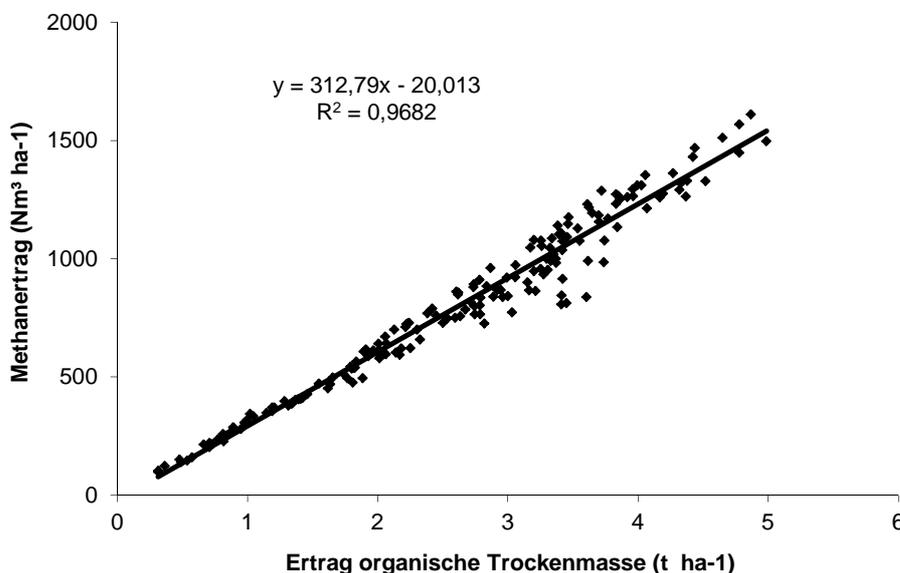


Abbildung 1. Zusammenhang von Ertrag an organischer Trockenmasse ($t\ oTM\ ha^{-1}\ Schnitt^{-1}$) und dem Methanertrag ($Nm^3\ Methan\ ha^{-1}\ cut^{-1}$)

Die Ergebnisse werfen die Frage auf, welche Auswirkung eine reduzierte Schnittfrequenz auf die ökonomische Situation haben kann. Werden die Varianten 1 (5 Schnitte) und die Variante 2 (3 Schnitte) verglichen, dann beträgt der Unterschied im Me-

thanertrag durchschnittlich 192 m³ pro Hektar und Jahr. Diese Methanmenge muss somit auf anderen Flächen erzeugt oder zugekauft werden. Die Vollkosten für den Biomasseanbau frei Fahrsilo für einen m³ Methan aus Grassilage liegen laut Kalkulationsdaten Futterbau (LEL UND LAZBW, 2010) bei rund 0,4 €. Somit fallen jährlich 77 € an zusätzlichen Kosten an, um die gleiche Methanmenge zu erzeugen. Andererseits können zwei Schnitte eingespart werden. Die variablen Kosten für Mähen, Zeten, Schwaden und Häckseln liegen bei rund 80 - 110 € je Schnitt und Hektar. Somit können die Erntekosten je Hektar um 160 - 220 € gesenkt werden. Demnach ist die Kostenersparnis deutlich höher, als die Kosten für den Methanverlust. Andererseits kann der höhere Gehalt an Rohfaser durch die geringe Schnittfrequenz zu höheren Anforderungen an den Anlagenbetrieb führen. Gegebenenfalls erhöht sich der Rühraufwand, was zu einem höheren Prozessenergiebedarf und zu mehr Verschleiß führen kann. Dies ist jedoch stark abhängig von der Anlagentechnik und dem Substratmix.

Die Variante 4 (mit Berücksichtigung des Mulchschnitts) zeigt, dass bei einer viermaligen Schnittnutzung die gleichen Methanerträge erzielt werden können, wie bei der 5-Schnittvariante. Es kann ein Schnitt eingespart werden und durch die viermalige Nutzung wird die Pflanzenmasse in einem physiologisch jüngeren Stadium geerntet werden, wodurch die Probleme mit der Konservierung und der Anlagentechnik im Vergleich zu der 3-Schnitt-Variante geringer sein dürften. In Tabelle 3 zeigt sich zudem, dass der Methanertrag je ha auch bei der 3 Schnitt-Variante auf dem Niveau der 5-Schnitt-Variante liegen kann, wenn der Düngeaufwand erhöht wird. Vergleicht man in Tabelle 3 und 4 die beiden Varianten 3 und 4, dann wird deutlich, dass es nicht sinnvoll erscheint, die Herbstaufwüchse nicht für die Biogaserzeugung zu nutzen. Ohne den letzten Aufwuchs fallen die Methanerträge je ha um ca. 20% (Variante 4), bzw. 30% (Variante 3) ab. Somit dürfte eine Strategie von 3 - 4 Nutzungen über den gesamten Vegetationszeitraum verteilt am vorteilhaftesten sein.

Tabelle 3: jährlicher Methanertrag in Norm-m³ (Nm³) mit Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

Variante	Jährlicher Methanertrag (Nm ³ ha ⁻¹)			
	Jahr 2006	Jahr 2007	Jahr 2008	Mittel
1	2.350 c	3.618 a	2.887 a b	2.952 a b
2	2.499 b c	3.062 b	2.720 b	2.760 b
3	2.907 a	3.206 b	2.995 a	3.036 a
4	2.845 a b	3.625 a	2.902 a b	3.124 a
Mittel	2.650	3.378	2.876	2.968
LSD	371	405	269	249

Tabelle 4: jährlicher Methanertrag in Norm-m³ (Nm³) ohne Berücksichtigung der Mulchschnitte in Variante 3 und 4 (gleiche Buchstaben = n.s. P<0.05)

Variante	Jährlicher Methanertrag (Nm ³ ha ⁻¹)			
	Jahr 2006	Jahr 2007	Jahr 2008	Mittel
1	2.350 a b	3.618 a	2.887 a	2.952 a
2	2.499 a	3.062 b	2.720 a	2.760 a
3	1.805 c	2.388 c	2.155 c	2.116 c
4	2062 b c	3.078 b	2.392 b	2.510 b
Mittel	2.179	3.036	2.539	2.585
LSD	363	382	206	237

4. Zusammenfassung

Um eine möglichst hohe Futterqualität für die Milchviehfütterung zu erzeugen, ist es notwendig, Grünland früh und häufig zu nutzen. Für die Nutzung in einer Biogasanlage scheint es vorteilhaft zu sein, hohe Trockenmasseerträge bei einer reduzierten Schnitffrequenz anzustreben. Zwischen dem Trockenmasseertrag und dem Methanertrag besteht ein eindeutiger Zusammenhang. Eine Nutzungshäufigkeit von 3 - 4 Schnitten erscheint auch auf sehr guten Standorten mit ortsüblich fünfmaliger Nutzung für die Biogasnutzung die richtige Strategie darzustellen. Zudem kann dies ökonomische Vorteile für den Biogaslandwirt mit sich bringen. Probleme können bei einer zu starken Absenkung der Schnitffrequenz durch den erhöhten Rohfasergehalt hervorgerufen werden. Dies ist jedoch ein technisches Problem und sollte lösbar sein.

Literatur

- ELSAESSER, M. (2007): Two cuts - and afterwards? - Effects of adapted management on permanent grassland. Proceedings of the 14th Symposium of the European Grassland Federation, 580-583.
- GRONAUER, A; ANDRADE, D.; BAUER, C.; EFFENBERGER, M.; HEUWINKEL, H.; LEBUHN, M. UND MARIN-PEREZ, C. (2009): Prozessoptimierung - Ein Zusammenspiel von Technik und Mikrobiologie. - Tagungsband zum KTBL / FNR-Biogas-Kongreß „Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven“. ISBN: 978-3-942147-00-2
- HELFFRICH, D. UND OECHSNER, H (2003): The Hohenheim Biogas Yield Test. Landtechnik, 3, 148-149
- LEL UND LAZBW (2010): Kalkulationsdaten Futterbau 3.5
- MESSNER, J; NUSSBAUM, H. UND ELSAESSER, M (2012): Specific utilization intensity of permanent grassland used as biogas-substrate. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, 392-394.

Energie- und Emissionsbilanz verschiedener Bewirtschaftungsformen des Extensivgrünlands

L. Bühle¹, F. Hensgen¹, I. Donnison², K. Heinsoo³, M. Wachendorf¹

¹UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
Steinstr. 19, 37213 Witzzenhausen, DE, buehle@uni-kassel.de

²INSTITUTE OF BIOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND RURAL SCIENCES, ABERYSTWYTH,
Gogerddan, Aberystwyth, SY23 3EB, UK

³ESTONIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES,
Riia 181, Tartu 51014, EE

1. Einleitung und Problemstellung

Viele europäische Regionen stehen vor der Herausforderung, alternative Konzepte für die Bewirtschaftung extensiver Grünlandflächen und für die Nutzung der dabei anfallenden Biomassen zu entwickeln. Hintergrund sind die sich verschlechternden sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen der Grünlandbewirtschaftung in benachteiligten Gebieten und die daraus resultierenden rückläufigen Tierbestände. Die energetische Verwertung der Grünlandaufwüchse bietet vielversprechende Perspektiven für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung, die für den Erhalt der vorherrschenden Vegetationen unerlässlich ist.

Aufgrund der fortgeschrittenen Lignifizierung durch den späten Schnitttermin sowie der großen Heterogenität in der stofflichen Zusammensetzung stellt Grünlandbiomasse von artenreichen, extensiv bewirtschafteten Flächen besondere Ansprüche an die energetische Verwertung im Vergleich zu ackerbaulichen oder forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Geringe Biogasbildungsraten als Folge limitierter Abbaubarkeit machen diese Biomasse unrentabel für die anaerobe Vergärung, und hohe Mineralstoffgehalte erschweren eine direkte thermische Verwertung über die Verbrennung in herkömmlichen Öfen.

Das Verfahren der „Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse“ (IFBB) ist in mehrerer Hinsicht an die Eigenschaften der extensiver Grünlandbiomasse angepasst, da es durch eine stoffliche Trennung mineralische Schadstoffe aus der Biomasse für die Brennstoffnutzung weitestgehend entfernt und dabei gleichzeitig ein hochverdauliches Flüssigsubstrat für die Biogaserzeugung zur Verfügung stellt (Wachendorf *et al.*, 2009).

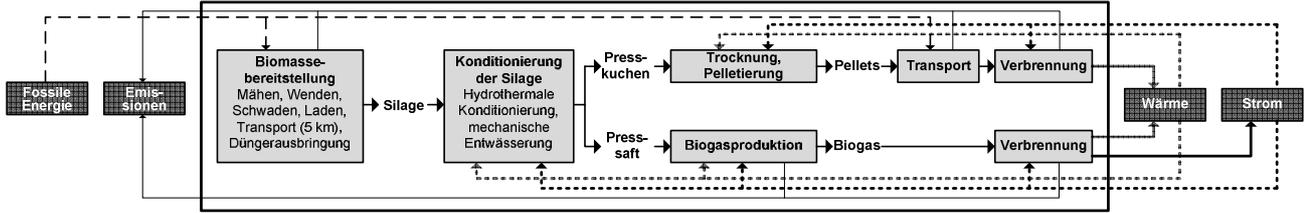
Dieser Beitrag bewertet das IFBB-Verfahren im Rahmen der Energie- und Emissionsbilanzierung und vergleicht es mit alternativen Konversionstechniken wie der Trockenfermentation und Heuverbrennung. Zusätzlich wird die tierische Verwertung über die Rindviehhaltung sowie nicht veredelnde Verfahren wie Mulchen und Kompostierung analysiert.

2. Material und Methoden

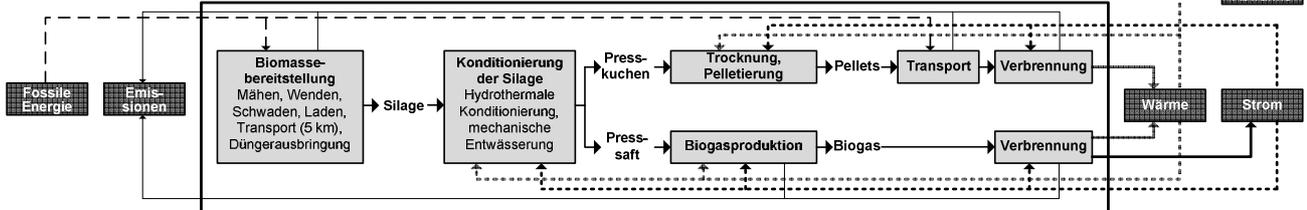
Die Untersuchung wurde nach den Prinzipien der Lebenszyklusanalyse (DIN, 2006) durchgeführt und betrachtet damit die gesamte Prozesskette der Produktbereitstellung von der Biomassebereitstellung über die Verwertung bis hin zu der Entsorgung von Reststoffen. Die betrachteten Produktionsverfahren sind in Abb. 1 dargestellt. Die Datengrundlage der hier betrachteten Biomassen bilden 18 europäische Grünlandvegetationen in Deutschland, Wales und Estland, die im Rahmen des EU-Projekts PROGRASS untersucht wurden (Bühle *et al.*, 2010). Der mittlere Ertrag, der der Analyse zugrunde gelegt wurde, betrug $3,8 \text{ t TM ha}^{-1}$.

Hinsichtlich der Konversionseffizienz wurde für die Verfahren der Energieproduktion (1-4) untersucht, in welchem Maße die in der Biomasse chemisch gespeicherte Energie in die Nutz- bzw. Endenergie Wärme und Strom umgewandelt wird. Verfahreninterne Bedarfe in Form von Wärme und Strom wurden dabei berücksichtigt und vom Output abgezogen. Darüberhinausgehend bewertet die Ökobilanzierung aller untersuchter Verfahren (1-7) die Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen durch die Verwertung der Grünlandbiomassen auf flächenspezifischer Basis. Als Referenzverfahren diente dabei bezüglich der Energie produzierenden Verfahren die konventionelle Wärme- und Stromerzeugung auf Basis des Durchschnittswerts der deutschen Energieversorgungsstruktur unter zusätzlicher Berücksichtigung konventioneller Düngerprodukte, die durch die Ausbringung von Gärresten und Aschen eingespart werden. Hinsichtlich der tierischen Verwertung wurde als Referenzverfahren die Fleischproduktion auf der Grundlage von intensiv bewirtschaftetem Grünland herangezogen, wobei die bilanzielle Äquivalenz der Versorgungsaufgabe auf Basis des flächenspezifischen Ertrags an metabolischer Energie der Grünlandbiomasse erfolgte. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass durch die Grünlandverwertung keine bestehenden Verfahren verdrängt werden und insofern kein entgangener Nutzen berücksichtigt werden muss, da Extensivgrünland zunehmend aus der Nutzung fällt.

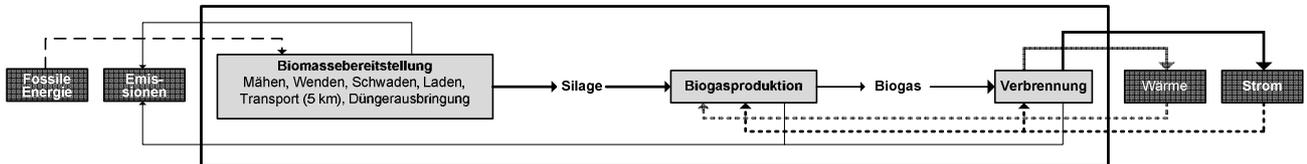
1. Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (stand-alone) (IFBB-SA)



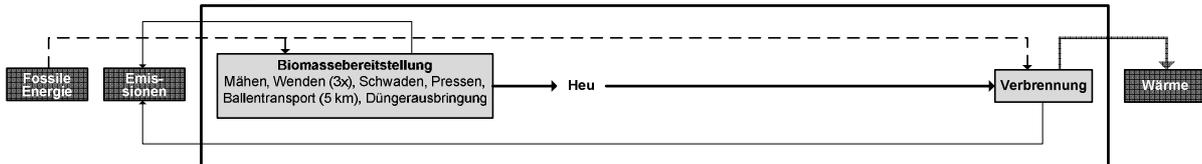
2. Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (add-on) (IFBB-AO)



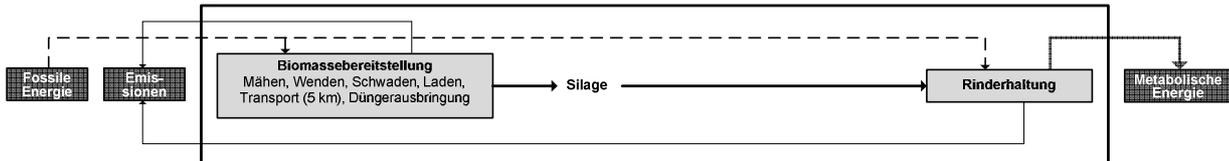
3. Trockenfermentation



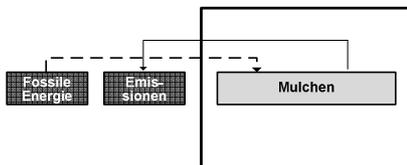
4. Heuverbrennung



5. Rinderhaltung



6. Mulchen



7. Kompostierung

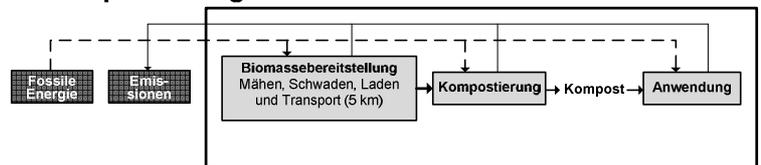


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der Energieproduktion durch die Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse als eigenständige stand-alone-Anlage und als add-on-Anlage zu einer Biogasanlage, die Trockenfermentation und die Heuverbrennung sowie der Futternutzung über die Rindviehhaltung und der nicht veredelnden Verfahren Mulchen und Kompostierung.

3. Ergebnisse und Diskussion

Bei der Konversion der Grünlandbiomasse über das IFBB-Verfahren (IFBB stand-alone) werden ca. 45 % der in der Biomasse gespeicherten Energie (Bruttoenergieertrag) in Nutzwärme überführt (Abb. 2). Der bereitgestellte Strom wird vollständig für den verfahrensinternen Betrieb elektrischer Geräte benötigt, darüber hinaus werden ca. 15 % des Bruttoenergieertrages als interner Wärmeverbrauch, vorwiegend für die Trocknung, genutzt. Die wesentlichen Verluste entstehen über die Konservierung als Silage und als Wärmeverluste bei der Verbrennung. Durch die Kombination des IFBB-Konzepts mit einer Biogasanlage mit Überschusswärme (IFBB add-on) kann der Wert der Wärmebereitstellung auf ca. 53 % des Bruttoenergieertrages gesteigert werden. Die Verwertung des Grünlands über die anarobe Vergärung der Ganzpflanzensilage in einer herkömmlichen Biogasanlage ohne vorhergehende Behandlung resultiert in einem Output an Wärme und Strom von 7 bzw. ca. 10 % des Bruttoenergieertrags bei einer unterstellten Abwärmenutzung von 50 % der ausschleusbaren Wärme. Die höchsten Verluste entstehen dabei durch den unverdauten Gärrests, der bei spät geerntetem Grünland aufgrund der fortgeschrittenen Lignifizierung besonders hoch ist. Vergleichbar mit dem IFBB add-on-Verfahren erreicht die Verbrennung des feldgetrockneten Heus mit ca. 54 % Wärmeoutput die höchste Konversionseffizienz der dargestellten Verfahren. Dabei ist zu bedenken, dass der Heubrennstoff von weitaus geringerer Qualität als der IFBB-Brennstoff ist, da mineralische Schadstoffe wie beispielsweise Kalium und Chlor in hohen Konzentrationen enthalten sind und aus technischer Sicht ein problematisches Asheerweichungs- und Korrosionsverhalten mit sich bringen. Außerdem birgt die Heuproduktion aufgrund der hohen Wetterabhängigkeit in vielen europäischen Regionen ein hohes Risiko bzw. ist eine Bodentrocknung nicht möglich.

Die bilanzielle Analyse der Einsparungen und Aufwendungen an primärenergetisch bewerteten Energiemengen und Treibhausgasen zeigt die höchsten Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen für das IFBB add-on-Verfahren (Abb. 3). IFBB stand-alone und die Heuverbrennung liegen in etwa gleichauf auf etwas geringerem Niveau, während die ausschließliche Biogasverwertung als Trockenfermentation die geringsten Einsparpotenziale aufweist. Durch das geringe Substitutionspotenzial an mineralischen Düngemitteln durch die Kompostproduktion bzw. die ausbleibende Wertschöpfung im Mulchverfahren verfügen diese Landschaftspflegeverfahren nicht über Einsparpotenziale, sondern tragen zum Verbrauch von fossilen Energieträgern und Ausstoß von Treibhausgasen bei. Hinsichtlich der Treibhausgasbilanz ergeben sich für die Fleischproduktion vom Extensivgrünland im Vergleich zum Referenzverfahren auf Basis des intensiven Grünlands kaum Unterschiede, da höhere Methanausstöße durch Düngegutschriften kompensiert werden.

Kurzvorträge: Sektion Energetische Nutzung

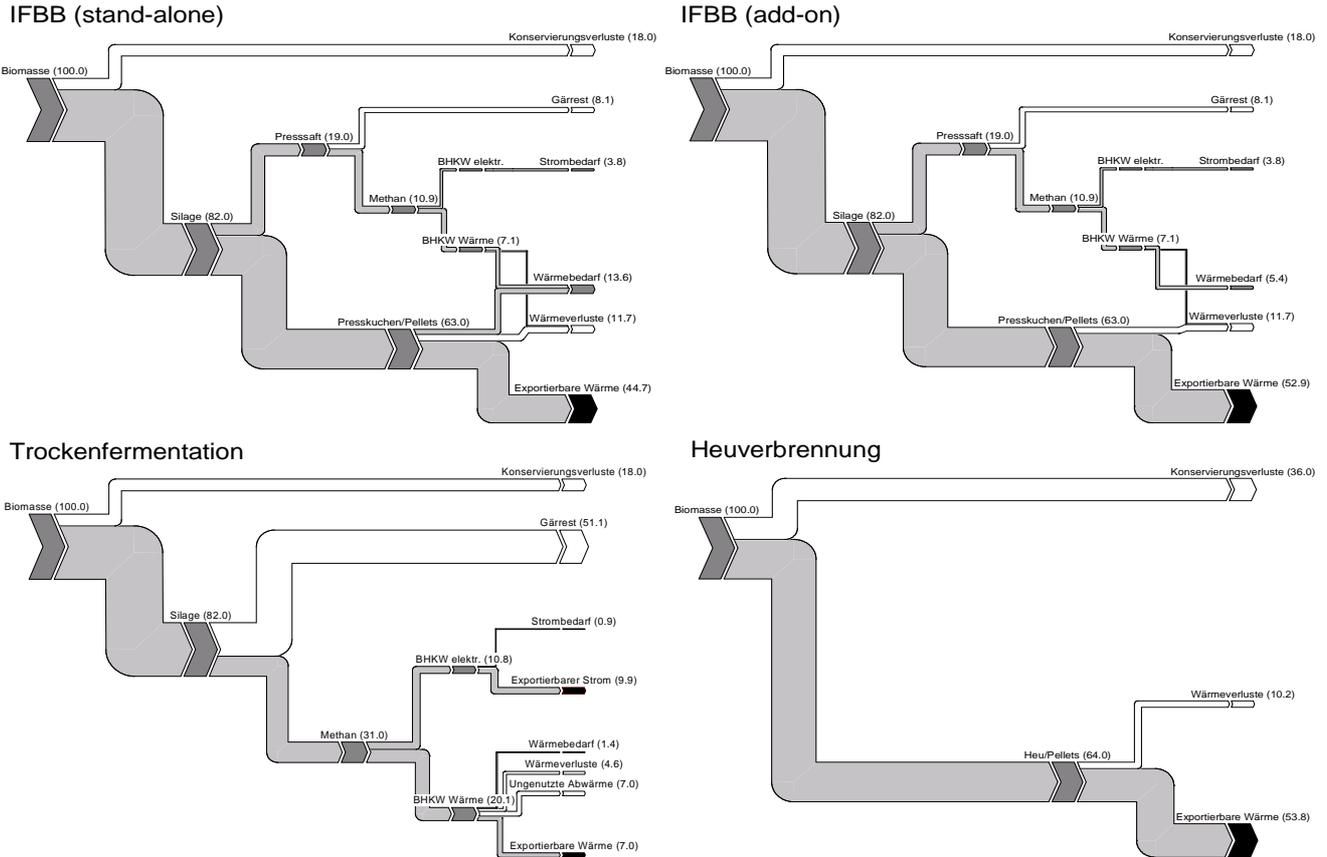


Abb. 2: Konversionseffizienz bei der Umwandlung zu Wärme und Strom bei der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) als stand-alone- und add-on-Verfahren, der Trockenfermentation und der Heuverbrennung (in Klammern ist die Energiemenge in % vom Bruttoenergieertrag des Grünlandbestands angegeben).

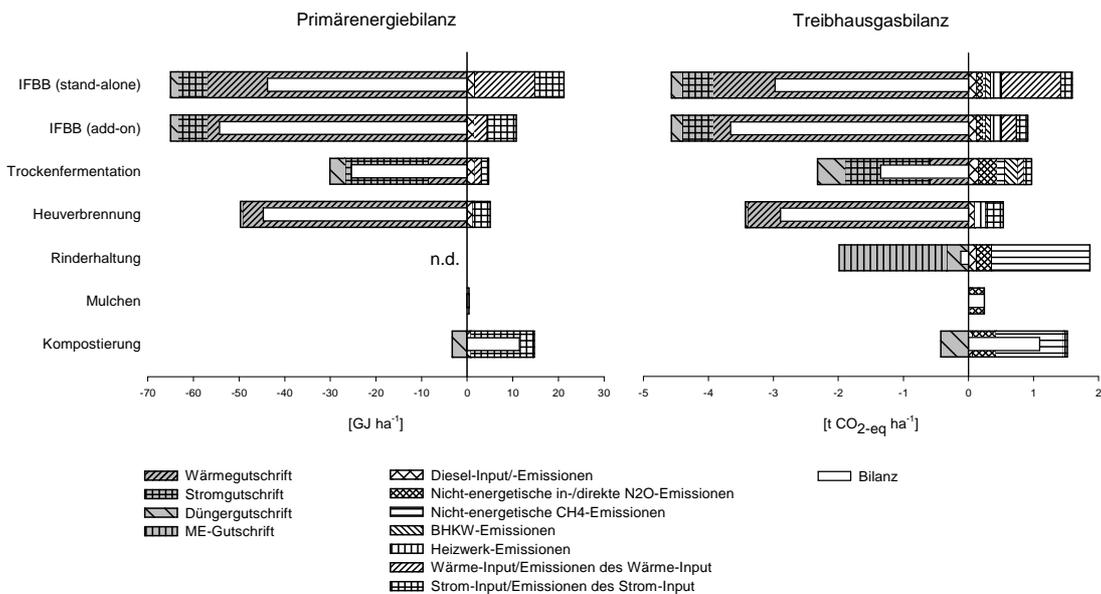


Abb. 3: Flächenbezogene Primärenergie- und Treibhausgasbilanz der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) als stand-alone- und add-on-Szenario, der Trockenfermentation und der Heuverbrennung sowie der Rinderhaltung, des Mulchens und der Kompostierung.

4. Schlussfolgerungen

Bezüglich der Konversionseffizienz und den Einsparpotenzialen an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen bei der energetischen Verwertung von Extensivgrünland stellen sich Verfahren der thermischen Konversion als vorteilhaft dar. Das Verfahren der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse liefert dabei einen qualitativ deutlich aufgewerteten Brennstoff im Gegensatz zur unbehandelten Biomasse. Minimale Landschaftspflegeverfahren wie das Mulchen oder die Kompostierung erweisen sich als nachteilhaft in Bezug auf die genannten Umweltwirkungen.

Literatur

- BÜHLE, L., DONNISON, I., HEINSOO, K., SÜDEKUM, K.-H. & WACHENDORF, M. (2010): PROGRASS - Erhalt von Naturschutzgrünland durch eine dezentrale energetische Verwertung. In: Märländer, B., Christen, O., Düker, A., Kenter, C. & Tiedemann, S. v. (eds.): *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*: Band 22, 275-276.
- DIN (2006): DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- WACHENDORF, M., RICHTER, F., FRICKE, T., GRAß, R. & NEFF R. (2009): Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermic conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science* 64/2, 132-143.

Ökonomische Bewertung verschiedener Landnutzungssysteme des Extensivgrünlands

B. Blumenstein^A, L. Bühle^B, M. Wachendorf^B, D. Möller^A

^AUNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET BETRIEBSWIRTSCHAFT,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, blumenst@uni-kassel.de
^BUNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND
NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen

1. Einleitung und Problemstellung

Niedrige Erträge und schlechte Futterqualitäten machen die Futternutzung von Extensivgrünlandstandorten gerade in Zeiten der Intensivierung der Tierhaltung zunehmend unattraktiv. Daher ist das Fortbestehen naturschutzfachlich wertvoller Grünlandbestände sowohl von einer Aufgabe der Bewirtschaftung und nachfolgender Sukzession, als auch durch Intensivierung der Flächen bedroht. Eine extensive, aber regelmäßige Nutzung dieser Bestände ist notwendig, um die Biodiversität dieser Habitate und ihren kulturlandschaftlichen Wert für Erholung und Tourismus zu erhalten (PARACCHINI ET AL., 2008). Neben herkömmlichen extensiven tierischen Nutzungsverfahren oder Landschaftspflegemaßnahmen ist im Kontext des steigenden Bedarfs erneuerbarer Energieträger auch eine energetische Nutzung des Aufwuchses denkbar. Allerdings gestaltet sich die Nutzung in herkömmlichen Bioenergiesystemen schwierig, zum einen aufgrund der niedrigen Biogasausbeuten des teilweise stark lignifizierten Substrats, zum anderen ist der Aufwuchs aufgrund der hohen Mineralstoffgehalte, die Emissionen und Korrosion begünstigen, kaum für die Verbrennung geeignet (RICHTER ET AL., 2009). Das an der Universität Kassel entwickelte Verfahren der Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) eignet sich dagegen besonders gut für den Aufwuchs spät geschnittener Grünlandbestände (WACHENDORF ET AL., 2009). Eine hydrothermale Konditionierung gefolgt von einer mechanischen Separierung von fester und flüssiger Phase erzeugen sowohl einen hochverdaulichen Presssaft für die Biogaserzeugung als auch einen Presskuchen, der wesentlich verbesserte Verbrennungseigenschaften aufweist. Der vorliegende Beitrag erörtert die ökonomische Tragfähigkeit verschiedener Landnutzungssysteme des Extensivgrünlands. Anhand von Wirtschaftlichkeitssimulationen und Sensitivitätsanalysen werden energetische, tierische Nutzungsverfahren sowie Verfahren der Landschaftspflege verglichen und die Vorteilhaftigkeit der unterschiedlichen Systeme bewertet.

2. Material und Methoden

Der Vergleich verschiedener Grünland-Nutzungsalternativen basiert auf dynamischen Investitionsrechnungen nach VDI-Standard (VDI, 2002), einer Annahmengenenerierung durch Experteninterviews (BLUMENSTEIN ET AL., 2011) sowie Daten europäischer Naturschutz-Grünlandbestände, die im Rahmen des PROGRASS-Projekts (BÜHLE ET AL., 2012) erhoben wurden. Als wirtschaftliche Kennzahlen wurden Annuität (durchschnittliches jährliches Betriebsergebnis) und Gesamtkapitalrentabilität (Grundlage: Interner Zinsfuß) kalkuliert. Es wurden die Charakteristika folgender Produktions bzw. -pflegesysteme des Extensivgrünlands verglichen: (a) Energiebe-

reitestellung durch das IFBB-Verfahren als eigenständiges System (IFBB-stand-alone), (b) Energiebereitstellung durch das IFBB-Verfahren als Erweiterung einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (IFBB-add-on), (c) Energiebereitstellung durch Trockenfermentation (TF), (d) Energiebereitstellung durch Heuverbrennung (HV), (e) Mutterkuhhaltung (MK), (f) Mulchen des Grünlands (MU) und (g) die Kompostierung und Düngerproduktion (KO). Ausgangsbasis des Vergleichs ist die gleiche Menge an Grünlandaufwuchs (500 ha, 3.8 t TM ha⁻¹). Um den Einfluss verschiedener ökonomischer Parameter abbilden zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse anhand einer Input-Variationsanalyse (Variation c.p. jeweils eines Parameters zwischen -15% bis +15%) sowie einer Break-even-Analyse, die die größtmögliche Variation eines Parameters bis zur Grenze der Unwirtschaftlichkeit abbildet, durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ökonomische Analyse der beschriebenen Landnutzungssysteme zeigt, dass der Extensivgrünlandaufwuchs am effizientesten in IFBB-add-on-System genutzt werden kann, während die Kompostierung die niedrigste Annuität aufweist (Abb. 1).

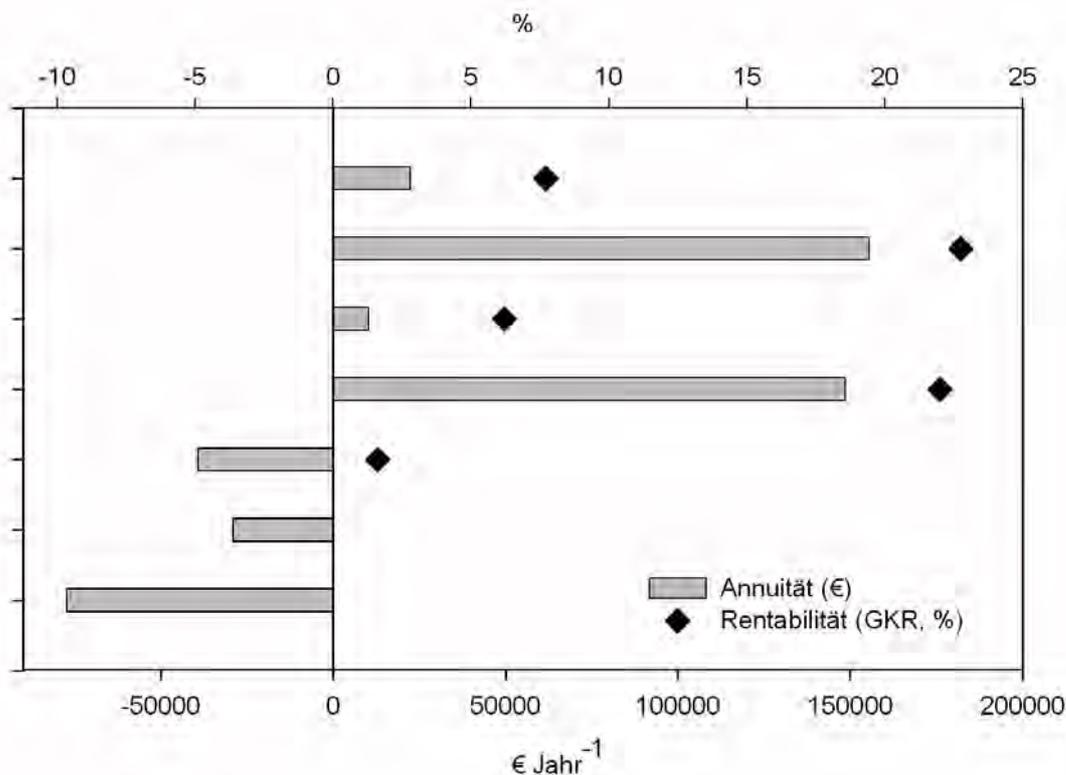


Abb. 1: Vergleich der durchschnittlichen jährlichen wirtschaftlichen Ergebnisse (Annuität, € Jahr⁻¹) und der Gesamtkapitalrentabilität (GKR, %) von bioenergetischen und tierischen Landnutzungssystemen sowie Verfahren der Landschaftspflege des Extensivgrünlands

Beide IFBB-Systeme produzieren rund 1500 t Graspellets pro Jahr mit einer thermischen Leistung von etwa 0,8 MW_{therm} (bei 7.884 Volllaststunden). Das Haupteinkommen wird über den Pelletverkauf erzielt (IFBB-SA: 79 %; IFBB-AO: 82 %). Dabei zeigen sich vielfältige ökonomische Vorteile des IFBB-AO-Systems gegenüber der Stand-alone-Variante. Da das IFBB-AO-System Wärme von der angrenzenden Bio-

gasanlage nutzen kann, können alle produzierten Pellets verkauft werden, während beim IFBB-SA-System rund 15 % der Pellets für den Eigenwärmebedarf benötigt werden. Zudem treten beim IFBB-AO-System Kosteneinsparungen durch niedrigere Investitions- und Arbeitskosten sowie gemeinsam genutzte Anlagenkomponenten und Maschinen auf.

Obwohl wegen der schlechteren Qualität des Heupellet-Brennstoffs ein geringerer Marktpreis für Heupellets unterstellt wurde, erreicht die Heuverbrennung einen Inter-
nen Zinsfuß von 22,00 %. Dies ist insbesondere der niedrigeren technischen und prozeduralen Komplexität des Systems geschuldet, die niedrigere Investitionskosten, Arbeits- und Substratproduktionskosten sowie einen verringerten Prozessenergiebedarf beinhaltet. Trotz der guten ökonomischen Kennzahlen findet die Heuverbrennung in der Praxis bisher kaum Anwendung. Dies mag einerseits mit den mineralischen Komponenten des Brennstoffs zu tun haben, die zu beschleunigter Korrosion der Verbrennungseinheiten führen und damit eine Schwelle für Landwirte darstellen, in Heuverbrennungssysteme zu investieren. Andererseits birgt die Heubereitung auch größere Bergerisiken als beispielsweise Silage und ist daher in manchen europäischen Gegenden aufgrund der Wetterbedingungen nicht praktikabel.

Trotz der unterstellten Abwärmenutzung von 50 % im Trockenfermentations-System ist die Rentabilität des TF-Verfahrens nur knapp gegeben. Dies hängt insbesondere mit dem geringen Methanerzeugungspotenzials der Ganzpflanzensilage von Extensivgrünland in diesem System zusammen. Obwohl Trockenfermentationssysteme für diese Art von Substraten konzipiert sind, werden sie in der Praxis oft mit Energiesubstraten beschickt, was zu besseren Ergebnissen sowohl der Biogasausbeuten als auch der Anlagenökonomie führt (vgl. BLOKHINA ET AL., 2009).

Die hohen Einnahmen aus dem Absetzerverkauf beim System Mutterkuhhaltung (MK) können die im Vergleich der Systeme höchsten jährlichen Kosten (Investitions-, Arbeits- und laufende Kosten) nicht ausgleichen. Um eine Vergleichsbasis aller Systeme zu schaffen, wurden jeweils neue Anlagengüter unterstellt. Ein Low-Input-System wie die Mutterkuhhaltung ist aber auf eine sehr extensive Haltung mit z.B. der Nutzung von Altgebäuden sowie ein intensiviertes Vermarktungssystem angewiesen. Kalkulationen optimierter Varianten zeigen, dass eine wirtschaftliche Mutterkuhhaltung unter optimalen Produktionsbedingungen wirtschaftlich betrieben werden und mit energetischen Nutzungsvarianten der Extensivgrünlandnutzung konkurrieren kann.

Die Mulch- und Kompostierungssysteme weisen jeweils negative Annuitäten auf (MU: 28.989 € Jahr⁻¹; CO: -77.240 € Jahr⁻¹). Als Landschaftspflegesystem generiert Mulchen ausschließlich Kosten ohne jegliche Einnahmen, ist aber aufgrund der geringen Investitionskosten mit einem geringeren Risikopotenzial als die hier verglichenen Systeme behaftet. Der vergleichsweise hohe Prozessenergiebedarf und die niedrigen jährlichen Einzahlungen machen auch die Kompostierung aus ökonomischer Sicht unattraktiv. Wenn die Knappheit fossiler Energieträger allerdings zukünftig eine Steigerung der Düngemittelpreise bewirkt, könnte hier eine verbesserte Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Managementsysteme wie MU und CO, die lediglich eine das Grünland erhaltende Funktion erfüllen, sind daher nur geeignet, wenn keine anderen Nutzungsoptionen möglich sind und eine angepasste Bezuschussung nationaler oder supranationaler Institutionen (EU) gewährleistet ist. Da Mulchen auf vielen

Naturschutzflächen nicht geeignet ist, um die Biodiversität zu erhalten, bietet sich diese Option schon jetzt für viele Standorte nicht an.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich alle Bioenergiesysteme auf der Grundlage der hier getroffenen Annahmen wirtschaftlich besser darstellen als die Tierhaltungs- oder Landschaftspflegesysteme. Sich verändernde Rahmenbedingungen oder andere Annahmen führen zu anderen Ergebnissen, weshalb eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde, um den Einfluss verschiedener ökonomischer Einflussfaktoren feststellen zu können. Den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der IFBB- und HV-Bioenergiesysteme hat hierbei der Pellet-Marktpreis, gefolgt von der Preissteigerungsrate der Pelletpreise und den Arbeitskosten. Das Trockenfermentationssystem weist die höchste Volatilität gegenüber Änderungen des Investitionsvolumens auf. Prozessenergie- und Substratkosten haben bei allen Bioenergiesystemen den geringsten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Systems. Änderungen von Verkaufspreis für Absetzer und die Direktkosten sind für die Mutterkuhhaltung die wichtigsten ökonomischen Treiber, während sich die Investitionskosten erst bei großen Veränderungen des Investitionsvolumens merklich auf die Rentabilität auswirken. Den größten Einfluss auf die Ökonomie des Mulchsystems haben die Arbeitskosten, während Änderungen der Prozessenergiekosten die Rahmenbedingungen der Kompostierung maßgeblich beeinflussen.

Der Einfluss des Substrattransports (Hof-Feld-Entfernung) auf die Wirtschaftlichkeit hängt insbesondere von der Art des Substrats ab, das in den verschiedenen Systemen produziert und genutzt wird (Abb. 2). Da Silagebergungskosten höher als Heuwerbungskosten anzusetzen sind, die die Silage daher mit steigender Transportentfernung proportional stärker teurer machen, bedeutet dies für diejenigen Verfahren, die Silage einsetzen (wie die IFBB-Systeme, das TF- und das MK-System) höhere Rentabilitätsverluste als für das Verfahren der Heuverbrennung. Für das Mulch-Verfahren hat die Feldentfernung lediglich Einfluss auf die Wegezeit und damit geringen Einfluss auf das wirtschaftliche Endergebnis. Da für die Abgabe des Substrats am Kompostwerk feste Entsorgungskosten anfallen, ist die Feldentfernung beim Kompostierungssystem als wirtschaftlicher Parameter irrelevant. Maximal tolerierbare Transportentfernungen liegen für das TF-System bei 9 km, für das IFBB-SA-System bei 14 km, für das IFBB-AO-System bei 64 km und bei 125 km für das HV-System. Im Vergleich der Bioenergiesysteme sind die Systeme IFBB-AO und HV am ehesten in der Lage, sich ändernde Rahmenbedingungen bzw. Änderungen der Inputparameter, hier in Bezug auf die Substratkosten, abzupuffern (Abb. 2). Da die Mutterkuhhaltung bereits in der Basis-Variante eine negative Annuität erzielt, liegen die kritischen Werte der Inputparameter jeweils unter den ursprünglich angenommenen Werten, um Rentabilitätsverluste auszugleichen.

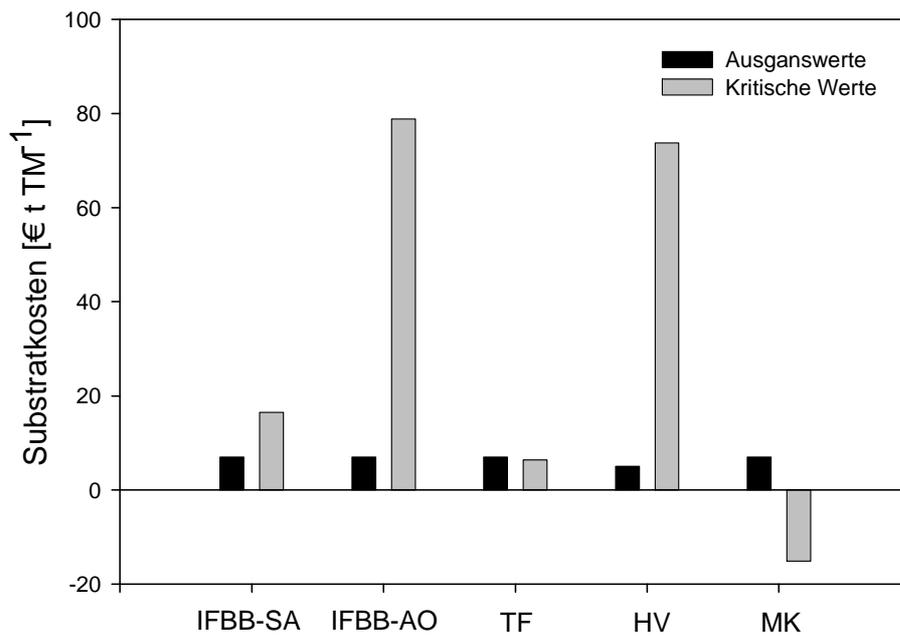
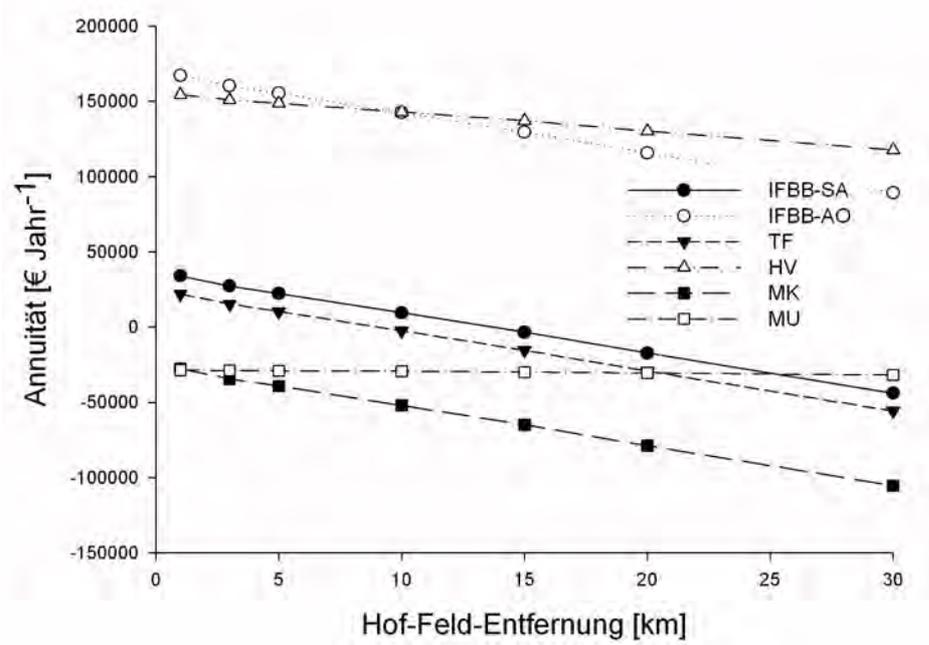


Abb. 2: Einfluss der Hof-Feldentfernung auf das jährliche Betriebsergebnis (Annuität) sowie maximal tolerierbare Substratkosten (kritische Werte) für eine Auswahl der betrachteten Grünland-Nutzungsverfahren

4. Schlussfolgerungen

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Landnutzungssysteme zeigt, dass Bioenergieverfahren zum Erhalt der Biodiversität von Extensivgrünlandstandorten durch eine wirtschaftliche Nutzung des Aufwuchses als Quelle erneuerbarer Energien beitragen können. Landschaftspflegeverfahren wie Mulchen oder Kompostierung verursachen unter dem Strich Kosten und sind daher lediglich zur Pflege des Grünlands geeignet, wenn keine anderen Verfahren durchgeführt werden können. Tierhaltungssysteme sind auf optimale Produktionsbedingungen und Vermarktungsstrategien angewiesen, um ökonomisch tragfähig zu sein. Insbesondere für die betrachteten Bioenergie- und Tierhaltungssysteme können überbetriebliche Kooperationen durch geteilte Investitionskosten sowie operative Vorteile zu gesteigerter Effizienz und Wirtschaftlichkeit führen.

Literatur

- BLOKHINA, Y., PROCHNOW, A., PLÖCHL, M., LUCKHAUS, C., HEIERMANN, M. (2009): Economic assessment of biogas production from landscape management grass in the Lower Oder Valley National Park. *Grassland Science in Europe* 14, 314-317.
- BLUMENSTEIN, B., MÖLLER, D. (2011): Bio-energy from semi-natural grasslands? Socio-economics and risk assessment of alternative grassland utilisation in disadvantaged areas, In: Pötsch, E. M., B. Krautzer & A. Hopkins (Eds.): *Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions. Grassland Science in Europe* 16, 311-313.
- BÜHLE, L., HENSGEN, F., DONNISON, I., HEINSOO, K., WACHENDORF, M. (2012): Life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery, animal-based and non-refining management systems. *Bioresource Technology* 111, 230-239
- PARACCHINI, M.L., PETERSEN, J.-E., HOOGEVEEN, Y., BAMPS, C., BURFIELD, I., VAN SWAAY, C. (2008): High Nature Value Farmland in Europe. An estimate of the distribution patterns on the basis of land cover and biodiversity data. Joint Research Centre, European Commission
- RICHTER, F., GRAß, R., FRICKE, T., ZERR, W., WACHENDORF, M. (2009): Utilization of semi natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. II. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on anaerobic digestion of press fluids. *Grass and Forage Science* 64, 354-363.
- VDI (2002): Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen (Economy calculation systems for capital goods and plants). Richtlinie 6025 des Vereins Deutscher Ingenieure. Beuth, Berlin
- WACHENDORF, M., RICHTER, F., FRICKE, T., GRAß, R., NEFF, R. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass and Forage Science* 64, 132-143.

Energieeffizienz der Biogasproduktion in den drei Landschaftsräumen Schleswig-Holsteins

S. Claus¹, B. Wienforth², A. Techow¹, R. Quackernack², A. Pacholski², F. Taube¹, K. Sieling², H. Kage², A. Herrmann¹

CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL,
Hermann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel

¹INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG, GRÜNLAND UND FUTTERBAU/ÖKOL. LANDBAU

²INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG, ACKER- UND PFLANZENBAU
sclaus@email.uni-kiel.de

1. Einleitung und Problemstellung

In Deutschland besteht seit Inkrafttreten des "Erneuerbare-Energien-Gesetzes" (EEG) und insbesondere seit dessen Novellierung im Jahr 2004 ein verstärkter Trend zur Installation von Biogasanlagen. Parallel dazu fand eine Ausdehnung des Anbaus von Silomais statt, welcher die Substratbereitstellung dominiert. So wurden im Jahr 2011 bundesweit ca. 600 000 ha Silomais für die Biogasproduktion angebaut. In Schleswig-Holstein umfasste die Gesamt-Silomaisanbaufläche 194.400 ha, wovon ca. 50% für die Biogasproduktion eingesetzt wurden. Der Maisanteil an der Ackerfläche betrug im Landesmittel 29%, regional sind jedoch Werte bis über 70% dokumentiert. Die Nutzung von Grünlandaufwüchsen zur Biogaserzeugung ist in der Praxis von geringer Bedeutung. Potentielle negative Effekte, die aus dem Maisanbau resultieren können, umfassen die Stickstoffauswaschung, Ammoniak- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Gärresten, Bodenerosion und Humusabbau, sowie Verlust an Biodiversität. Daneben ist die Substratproduktion zur Biogaserzeugung häufig durch einen hohen Einsatz an fossilen Brennstoffen gekennzeichnet, wodurch sowohl die Energie- als auch die Treibhausgasbilanz negativ beeinflusst werden. Obwohl in Deutschland verschiedene Studien zur Ökobilanzierung der Biogasproduktion durchgeführt wurden (PLÖCHL et al. 2009, PLÖCHL & SCHULZ 2006, PROCHNOW et al. 2009, WBA 2009, BUTTERBACH-BAHL et al. 2010), stehen Daten für Nord-Deutschland, insbesondere in Bezug auf Energie- und Treibhausgasbilanzen nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung. Ziel dieser Untersuchung war es daher, Energiebilanzen für die Biogasproduktion in Schleswig-Holstein zu erstellen und aufzuzeigen, welche Energieeffizienzen erzielt werden können, wenn die Bereitstellung der Substrate auf Basis von an Boden- und Klimaverhältnisse angepasste Anbausysteme erfolgt.

2. Material und Methoden

Die Studie basiert auf einem 2-jährigen Feldversuch, der auf drei Versuchsstandorten der Universität Kiel im Rahmen des Verbundprojektes Biogas-Expert durchgeführt wurde: Hohenschulen (HS), Karkendamm (KD) und Blumenkoog (BK). Der Standort Hohenschulen liegt im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins und weist eine durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge von 750 mm auf. Die durchschnittliche Tagestemperatur liegt bei 8,3° C. Der Boden kann als lessivierte Braunerde von lehmiger Sandstruktur klassifiziert werden. Der Standort Karkendamm ist in dem Landschaftsraum Geest angesiedelt. Die jährliche Niederschlagsmenge in liegt

im Mittel bei 760 mm bei einer durchschnittlichen Tagestemperatur von 8,8 °C. Bei dem Boden handelt es sich um einen Gley-Podsol von sandiger Sandstruktur. Der Standort Blumenkoog liegt an der Westküste Schleswig-Holsteins im Landschaftsraum Marsch und weist eine durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge von 830 mm auf. Die durchschnittliche Tagestemperatur liegt bei 8,7 °C. Der Boden kann als Kalkmarsch von schluffig toniger Struktur klassifiziert werden.

Es wurden insgesamt vier Anbausysteme untersucht: Mais-Monokultur (FF1), eine Energiefruchtfolge (FF2) bestehend aus Mais-GPS Winterweizen-Welsches Weidelgras als Zwischenfrucht in Hohenschulen; Mais-Monokultur (FF1) und Deutsches Weidelgras (Ackergras, 4 Schnitte) (FF4) in Karkendamm, sowie Mais-Monokultur (FF1), Mais-GPS Winterweizen-Welsches Weidelgras (FF2) als Zwischenfrucht und Deutsches Weidelgras (Ackergras, 4 Schnitte) (FF4) im Blumenkoog. Hier muss jedoch angemerkt werden, dass im ersten Versuchsjahr am Standort Blumenkoog nicht, wie geplant, Winterweizen sondern ein Sommerweizen etabliert werden musste, da aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen die Vorfrucht Mais nicht zeitgerecht geerntet werden konnte. Neben dem Einfluss der Kulturart wurde der Einfluss von N-Düngertyp und N-Menge auf die Ertragsleistung und Umwelteffekte untersucht. Die verwendeten Düngertypen waren KAS und Biogas-Gärrest aus Kofermentation. Die N-Menge wurde in Abhängigkeit der Kulturart variiert, wobei an den Standorten Hohenschulen und Karkendamm jeweils 0, 120, 240, 360 kg ha⁻¹ zu Weizen und Mais appliziert wurden, sowie 0, 160, 320, 480 kg ha⁻¹ (4 Gaben) zu Deutschem Weidelgras. Am Standort Blumenkoog wurden 0,150, 200 kg ha⁻¹ zu Mais, 0,180, 240 kg ha⁻¹ zu Sommerweizen, 0, 240, 320 kg ha⁻¹ zu Winterweizen und 0, 360, 480 kg ha⁻¹ in vier Gaben zu Deutschem Weidelgras.

Für die Erstellung der Energiebilanz wurde nach HÜLSBERGEN et al. (2001) nur der direkte und indirekte Energieinput in Form von Dieselkraftstoff, Heizöl, Schmierstoffen, Maschinen und Arbeitsgebäuden berücksichtigt. Der Dieserverbrauch basiert auf der Berechnung über multiple Regression unter Berücksichtigung der Feldgröße (20 ha), Bodenart, und Hof-Feld Entfernung (8 km). Die zugrunde liegenden Daten wurden der Datenbank des KTBL (KTBL 2011) entnommen. Da die Konversion zu Biogas ebenfalls in die Energiebilanz eingeht, ist der indirekte Energieaufwand für Lagerungsprozesse in Form von Silobau und Herstellung der PE-Folie mit einbezogen worden. Die Berechnung des Primärenergiebedarfs zur Bereitstellung von landwirtschaftlichen Maschinen erfolgte nach GAILLARD (1997), basierend auf Daten des KTBL (2011) und SCHOLZ (1995). Die Umrechnung zur Ermittlung des indirekten Energieinputs der landwirtschaftlichen Betriebsmittel wurde basierend auf den Werten von CLAUS et al. (2011) durchgeführt.

Für die Konversion zu Biogas wurde ein 500 kW KWK-Kraftwerk mit einer elektrischen Effizienz von 40% und einer thermischen Effizienz von 41.5% angenommen worden. Der Eigenwärmebedarf wurde mit 20% der produzierten Wärme angesetzt und der Eigenenergiebedarf mit 7.5% der produzierten Elektrizität. Die Kalkulation des Energieoutputs (outputel, outputth, Nährstoffe) basiert auf dem Methanbildungspotenzial von Mais, GPS-Weizen und Gras, welche in einem weiteren Teilprojekt des Biogas-Expert Projektes untersucht worden sind. Der Energiegehalt des Outputs wurde über die Umrechnung von Methan in MJ ha⁻¹ anhand des Heizwertes von Methan (35,9 MJ m⁻³) (KTBL 2006) bestimmt.

Das Verhältnis von N-Input zum gesamten Energieinput bzw. -output wurde für die Standorte Hohenschulen und Karkendamm unter Annahme einer Exponentialfunktion (Energieinput) bzw. einer linear-Plateau Funktion (Energieoutput) ermittelt. Der Nettoenergieoutput wurde für alle Standorte mittels Subtraktion des Inputs vom Gesamtoutput errechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich der Mais-Monokultur und der Energiefruchtfolge am Standort Hohenschulen, sowie der Mais-Monokultur und dem Deutschem Weidelgras (4-Schnittnutzung) am Standort Karkendamm zeigt eine deutliche Überlegenheit der Mais-Monokultur bezüglich des Energieoutputs von 26.3 bis 52.5 GJ ha⁻¹ (siehe Tab. 1). Dies kann auf die höheren Trockenmasseerträge des Mais zurückgeführt werden. Einschränkend muss angemerkt werden, dass der Winterweizen in der Fruchtfolge auf Hohenschulen im ersten Versuchsjahr Vorfruchtbedingt einen Minderertrag erzielte. Für den Standort Blumenkoog belegt der Vergleich der Anbausysteme eine ähnliche Situation. Der Energieoutput der Maismonokultur liegt jedoch mit Werten von 108,9 GJ ha⁻¹ für KAS und 105,4 GJ ha⁻¹ für den Gärrest um 12 bis 31 GJ ha⁻¹ unter den im Hügelland bzw. in der Geest erzielten Erträge. Dies kann auf die für den Mais ungünstigeren Standortbedingungen in der Marsch zurückgeführt werden, bedingt durch eine langsamere Erwärmung des Bodens im Frühjahr, periodisch auftretende Frühjahrstrockenheiten sowie Phasen mit Staunässe in der späten Vegetationsperiode. Zusätzlich ist anzumerken, dass an diesem für den Maisanbau marginalen Standort, der Mais ein deutlich erhöhtes Ertragsrisiko aufweist. Der Versuch wurde insgesamt über 4 Jahre (2008-2011) durchgeführt, von denen jedoch nur zwei Jahre (2009-2010) in die Ökobilanzierung einfließen. Im Jahr 2008 war ein kompletter Ertragsverlust für den Mais zu verzeichnen, bedingt durch eine starke Frühjahrs-trockenheit, welche das Auflaufen des Mais stark einschränkte. Die Mais-Weizen-Gras Fruchtfolge erzielte einen deutlich geringeren Energieoutput im Vergleich zur Mais-Monokultur. Dies ist hauptsächlich darin begründet, dass im Herbst 2008 witterungsbedingt kein Winterweizen etabliert werden konnte und der Sommerweizen einen deutlich geringeren Ertrag aufwies, was ebenfalls ein höheres Ertragsrisiko für dieses Anbausystem belegt. Darüber hinaus konnte standortbedingt das Welsche Weidelgras nur über einen Herbstschnitt genutzt werden. Im Gegensatz zur Maismonokultur war das Ackergras in der Marsch im Vergleich zur Geest durch eine höhere Ertragsleistung bei gleichzeitig hoher Ertragsstabilität gekennzeichnet. An allen Standorten wies das über Gärrest versorgte Ackergras einen deutlich geringeren Energieoutput auf als die mineralisch gedüngte Variante, was durch höhere NH₃-Emissionen (Quakernack et al., 2011) und geringere N-Düngewirkung des Gärrestes im Gras zu erklären ist. Der Vergleich von Mais-Monokultur und Deutschem Weidelgras (4-Schnittnutzung) am Standort Blumenkoog zeigt, wie am Standort Karkendamm, eine deutliche Überlegenheit der Mais-Monokultur bezüglich des Energieoutputs von 10 bis 41 GJ ha⁻¹ (siehe Tab. 1). Dies kann auf die relativ hohen Trockenmasseerträge des Mais und eine höhere spezifische Methanausbeute zurückgeführt werden, und ist in der Gärrestvariante zusätzlich durch die geringere N-Düngewirkung des Gärrestes bedingt.

Tab. 1: Energieoutput, -input und Nettoenergiegewinn (GJ ha^{-1}) bei dem für Maximierung von Ertrag und Nettoenergiegewinn erforderlichen N-Input (N-Opt.; kg N ha^{-1})

Anbau-system	Stand-ort	KAS				Gärrest			
		N-Opt.	Ener-gieOut-put	Energie Input	Netto-Energie	N-Opt.	Ener-gieOut-put	Energie Input	Netto-Energie
		kg N ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}	kg N ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}	GJ ha^{-1}
FF1	HS	148	133,0	38,5	94,5	132	136,3	34,8	101,5
FF2	HS	231	112,8	46,9	65,9	268	117,7	42,7	75,0
FF1	KD	142	121,0	33,5	87,5	246	125,7	32,2	93,5
FF4	KD	290	99,0	42,3	56,7	336	69,6	28,8	40,8
FF1	BK	150	108,9	32,5	76,4	152	105,4	26,8	78,6
FF2	BK	230	98,8	36,6	62,1	245	85,1	27,8	57,3
FF4	BK	360	98,5	43,2	55,2	360	64,5	26,4	38,1

Bei Betrachtung des Energieinputs für den Standort Blumenkoog zeigt sich, dass die Energiefruchtfolge und das Deutsche Weidelgras höhere Werte aufweisen als die Mais-Monokultur. Dies liegt darin begründet, dass Mais insgesamt weniger Feldarbeitsschritte und einen geringeren N-Input als Weizen und Gras erforderte. Der Vergleich der N-Düngertypen (KAS und Biogas-Gärrest) zeigt an allen Standorten für den Energieinput relativ geringe Unterschiede. Generell verursacht eine mineralische N-Versorgung jedoch einen höheren Energiebedarf. Der Grund hierfür liegt in der Herstellungsenergie, die für die verschiedenen Düngertypen aufgewendet werden muss, und welche für den Gärrest mit $11,6 \text{ MJ m}^{-1}$ (HÄUSSERMANN & DÖHLER 2010) deutlich geringer ist als für KAS mit $39,65 \text{ MJ kg}^{-1}$ (PATYK & REINHARDT 1997).

Aus den für Energieout- und -input getroffenen Ausführungen folgt, dass bezüglich des Nettoenergieoutputs die Maismonokultur im Hügelland und in der Geest für beide Düngevarianten eine Überlegenheit zu den anderen untersuchten Anbausystemen aufweist. Auch in der Marsch weist die Maismonokultur in den beiden Versuchsjahren eine höhere Vorzüglichkeit als die Fruchtfolge ($\Delta 15\text{-}20 \text{ GJ ha}^{-1}$) und das Gras auf. Selbst unter der Annahme, dass im ersten Versuchsjahr anstatt des Sommerweizens ein Winterweizen etabliert worden wäre, bleibt der Nettoenergieertrag der Fruchtfolge hinter der Maismonokultur zurück. Neben dem Nettoenergieoutput kann die Effizienzbewertung der Energieerzeugung aus Biogas auch über das Verhältnis von Energieoutput zu -input erfolgen. Für die untersuchten Standorte und Anbausysteme variierte das Output/Input-Verhältnis von 2,2 (Grünland, BK, KAS) bis 3,9 (Maismono, alle Standorte, Gärrest). Maismonokultur sowie Gärrestdüngung resultierten bei gegebenem Standort jeweils in der höchsten Energieeffizienz.

4. Schlussfolgerungen

Der Nettoenergieertrag sowie das Energieoutput/-input Verhältnis dokumentieren einen deutlichen Effekt von Standort, Anbausystem und N-Düngeform. Eine Ausschöpfung des Energieertragspotentials alleinig mittels Nährstoffversorgung über Gärrest, im Sinne geschlossener Nährstoffkreisläufe, ist für verschiedene Anbausysteme nicht möglich, wie beispielsweise die Ergebnisse für das Ackergras sowie die Energiefruchtfolge am Standort Blumenkoog belegen. Ein Einsatz mineralischer N-

Düngung erhöht zwar den Energieinput, kann aber über den positiven Ertragseffekt auf das Gras überkompensiert werden. Dies verschärft jedoch die N-Problematik in Regionen mit hoher Anlagendichte.

Eine umfassende Bewertung von Anbausystemen im regionalen Kontext erfordert daher die Berücksichtigung weiterer Umweltwirkungen, wie die Klimawirksamkeit, das Eutrophierungs- und Versauerungspotential. In einem nächsten Schritt wird basierend auf den hier präsentierten Ergebnissen und unter Berücksichtigung der in den Versuchen quantifizierten Lachgasemission eine CO₂-Bilanz angefertigt, um daraus folgend Rückschlüsse auf das CO₂-Minderungspotential der untersuchten N-Düngelformen und Anbausysteme zu ziehen.

Literatur

- BUTTERBACH-BAHL, K., LEIBLE, L., KÄLBER, S., KAPPLER & KIESE, G.R. (2010): Treibhausgasbilanz nachwachsender Rohstoffe - Eine wissenschaftliche Kurzdarstellung.
- CLAUS, S., WIENFORTH, B., SIELING, K., KAGE, H., TAUBE F. & HERRMANN, A. (2011): Energiebilanz im Lebenszyklus der Biogasproduktion aus Energiepflanzen unter den Anbaubedingungen Schleswig-Holsteins. In: Kalzendorf, C. & Riehl, G. (ed.): Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 12, 128-133.
- GAILLARD, G., HAUSHEER, J. & CRETTEZ, P. (1997): Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau. Daten für die Erstellung von Energie- und Ökobilanzen der Landwirtschaft. FAT Schriftenreihe 46, Tech. Rep., Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwissenschaft und Landwirtschaft, Tänikon, Ettenhausen, 1997.
- HÜLSBERGEN, K., FEIL, B., BIERMANN, S., RATHKE G., KALK W. & DIEPENBROCK W. (2001): A method of energy balancing in crop production and its application in a long term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86, 303-321.
- KTBL (2011): KTBL-Datenbank Kalkulationsdaten: Pflanzenproduktion, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). URL <http://www.ktbl.de>.
- KTBL (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt.
- PLÖCHL, M., HEIERMANN, M., LINKE, B. & SCHELLE, H. (2009): Biogas Crops Part II: Ecological Benefit of Using Field Crops for Anaerobic Digestion, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* XI (1086).
- PLÖCHL, M. und SCHULZ, M. (2006): Ökologische Bewertung der Biogaserszeugung und -nutzung, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam-Bornim, 3. überarbeitete Auflage, 49–52.
- PROCHNOW, A. , HEIERMANN, M. , PLÖCHL, M., LINKE, B., IDLER, C., AMON, T. & HOBBS, P. J. (2009): Bioenergy from permanent grassland – a review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100, 4931–44.
- QUAKERNACK, R., PACHOLSKI, A., TECHOW, A., HERRMANN, A., TAUBE, F. & KAGE, H. (2011): Ammonia volatilization and yield response of energy crops after fertilization with biogas residues in a coastal marsh of Northern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
Doi:10.1016/j.agee.2011.05.030.
- SCHOLZ, V. (1995): Energiebilanz für Festbrennstoffe. Forschungsbericht , 95/3, Tech. Rep., ATB Potsdam-Bornim, 1995.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BMELV (WBA) (2009): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung -Empfehlungen an die Politik, Tech. Rep. November, 2007.

Wirkung organischer Dünger auf botanische Zusammensetzung und Ertrag von Grünlandpflanzenbeständen eines Flussaueenstandorten

H. Alaid¹, H. Giebelhausen¹, H. Hochberg² und Lehmann J.³

¹ HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN, LANDWIRTSCHAFTLICH-GÄRTNERISCHE FAKULTÄT, FG ACKER- UND PFLANZENBAU, 10115 Berlin, Invalidenstr. 42, hossam.alaid@hu-berlin.de, hermann.giebelhausen@agrار.hu-berlin.de

² THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, REFERAT GRÜNLAND UND FUTTERBAU, 99869 Wandersleben, Bahnhofstr. 1a, h.hochberg@wandersleben.tll.de

³ LANDWIRTSCHAFTSBETRIEB GBR HOF BURIG, 15537 Gosen-Neu Zittau, Jägerstr. 17a, Dr.JoachimLehmann@reitanlage-burig.de

1. Einleitung und Problemstellung

In ökologisch wirtschaftenden Grünlandbetrieben erfolgt der Nährstoffersatz meist durch Mist, Kompost, Gülle oder Biogas-Gärreste. Die Düngungsrichtlinien der Ökoverbände bestimmen Menge und Zeitpunkt der eingesetzten organischen Dünger. Mist wird zu Grünland meist in einer Gabe im Herbst verabreicht, so dass die mineralisierten Nährstoffe aus der organischen Substanz den Pflanzen im folgenden Frühjahr zur Verfügung stehen (KLAPP, 1971; OPITZ V. BOBERFELD, 1994; BUCHGRABER & GINDL, 2004). Auf Grünlandstandorten mit Hochwassergefahr dürfen organische Dünger aus Verwertungs- und Umweltschutzgründen erst im Frühjahr ausgebracht werden. Das kann dazu führen, dass der Dung bis zu seiner Zersetzung die Pflanzenbestände stärker bedeckt und so ihre Frühjahrsentwicklung beeinflusst. Bei im Frühjahr ausgebrachtem Dung ist gegenüber der Herbstanwendung auch mit einer späteren Nährstoffverfügbarkeit zu rechnen. Da auf Flussaue-Grünland die Wirkung organischer Dünger bei Frühjahrsanwendung kaum untersucht ist, wurde im Jahr 2010 in einem Ökobetrieb der Spree-Flussaue ein Freilandexperiment angelegt. Nachfolgend werden daraus zweijährige Ergebnisse zum Einfluss verschiedener organischer Dünger bei Frühjahrsanwendung auf die botanische Zusammensetzung und die TM-Erträge der Pflanzenbestände in Abhängigkeit von Nutzungsfrequenz sowie Düngerart und -menge vorgestellt.

2. Material und Methoden

Der Versuchsstandort liegt in einem Ökobetrieb der Spree-Flussaue, 40 km südöstlich Berlins im Land Brandenburg. Der Betriebsschlag wird seit 1990/1991 als extensive Mutterkuh-Mähstandweide bewirtschaftet. Der Boden der Grünlandversuchsfläche ist sandig bis humos und sehr heterogen (SCHWEITZER, 2006). Er wird vom Wasserstand der Spree beeinflusst und es besteht Hochwassergefahr. Im Gebiet beträgt die Jahresmitteltemperatur 9,2° C und im langjährigen Mittel fallen 509,8 mm Niederschlag (BAUMECKER, 2012). Die Niederschläge der Versuchsjahre 2010 und 2011 betragen 619,0 mm bzw. 610,5 mm, so dass insgesamt eine gute Wasserversorgung vorlag. Trotzdem waren im Jahr 2010 die Monate April und Juni sehr trocken,

dagegen lagen 2011 nur die Niederschläge im Mai unter dem Normalwert. Durch sehr hohe November- und Dezemberrniederschläge 2010 führte die Spree Hochwasser, so dass die Versuchsfläche von Mitte Dezember 2010 bis Mitte März 2011 überschwemmt war. Von April bis Oktober 2011 schwankte der Grundwasserstand zwischen 40 bis 110 cm unter Flur.

Im Frühjahr 2010 erfolgte die Einrichtung des Parzellenversuches als zweifaktorielle Spaltanlage [(A/B)-Block] mit vier Wiederholungen und einer Parzellengröße von 15 m². Die Versuchsfaktoren und -stufen sind in Tabelle 1 dargestellt. Laut Biopark-Düngungsverordnung entsprechen 0,5 Düngungseinheiten (DE) 40 kg N/ha und die Höchstmenge von 1,4 DE = 112 kg N/ha. Der im Versuch eingesetzte Mutterkuh- und Pferdedung kommt aus dem Bio-Landwirtschaftsbetrieb Lehmann und der Gärrest aus einer Biogasanlage mit Milchviehgülle. Der Mutterkuhdung fällt in der Winteraußenhaltung der Tiere im Betrieb Lehmann an und besteht aus Heuresten und Exkrementen, während der Pferdedung aus der dortigen Pensionspferdehaltung kommt. Vor der Düngerausbringung erfolgte eine Analyse ihrer Inhaltsstoffe. Nach ihrem N_t-Gehalt wurden die Düngermengen errechnet und jährlich per Hand in einer Gabe Ende März/Anfang April auf die Parzellen ausgebracht. Zu Versuchsbeginn bestand die Grünlandnarbe vor allem aus Wiesenfuchsschwanz, Knaulgras, Wiesenrispe sowie Löwenzahn, Schafgarbe und Großem Sauerampfer.

Tab. 1: Versuchsfaktoren und -stufen des Grünland-Parzellenversuches zum Einsatz organischer Dünger in Abhängigkeit von Nutzungsfrequenz sowie Düngerart und -menge in der Spree-Flussaue, Land Brandenburg

Faktor	Faktorstufen	
A Nutzungsfrequenz	a ₁	3 Schnitte/Jahr
	a ₂	4 Schnitte/Jahr
B Düngung	b ₁	ohne organische Düngung, Kontrolle
	b ₂	mit organischer Düngung, Mutterkuhmist 0,5 DE/ha
	b ₃	mit organischer Düngung, Pferdemist 0,5 DE/ha
	b ₄	mit organischer Düngung, Gärrest 0,5 DE/ha
	b ₅	mit organischer Düngung, Mutterkuhmist 1,4 DE/ha
	b ₆	mit organischer Düngung, Pferdemist 1,4 DE/ha
	b ₇	mit organischer Düngung, Gärrest 1,4 DE/ha

Die botanische Zusammensetzung der Grünlandpflanzenbestände wurde vor jeder Nutzung nach der Methode von KLAPP/STÄHLIN erfasst und die Parzellen mit einem Motormäher geerntet. Mit der Statistik-Software SAS 9.2 wurden die TM-Erträge varianzanalytisch verrechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Botanische Zusammensetzung

Bei 3-Schnittnutzung waren in den Fröhjarsaufwüchsen des 1. Versuchsjahres 2010 Knauigras (ca. 40 % EA), gefolgt von Wiesenrispe, Wiesenfuchsschwanz, Rohrschwingel sowie Schafgarbe und Löwenzahn am stärksten vertreten (Abb. 1).

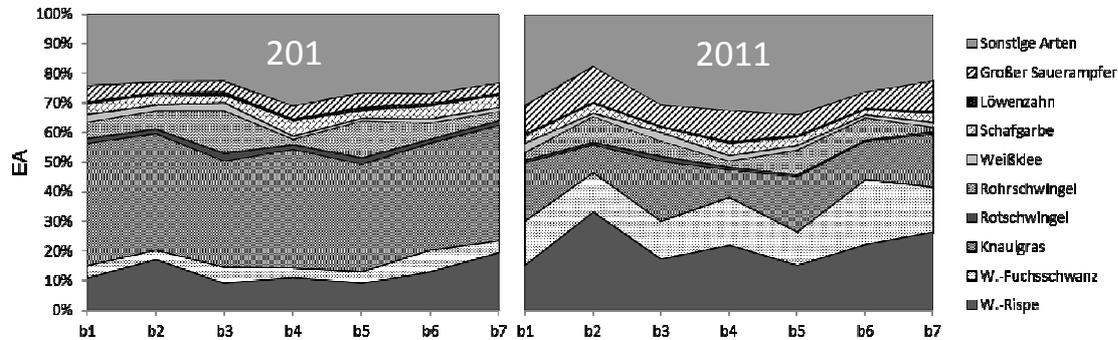


Abb. 1: Ertragsanteile (EA) wichtiger Pflanzenarten im Primäraufwuchs von Flussaue-Grünland in Abhängigkeit des Einsatzes verschiedener organischer Dünger (b₁-b₇). 3 Schnitte, Burig 2010 und 2011

Wiesenrispe war im Jahr 2010 besonders in den mit Mutterkuhmist (40 kg N/ha; Stufe b₂) gedüngten Parzellen sowie in den Beständen mit Gärreiteinsatz (112 kg N/ha; b₇) stärker präsent, während sich Rohrschwingel in den Düngungsvarianten mit Pferdemist (40 kg N/ha; b₃) und mit Mutterkuhmist (112 kg N/ha; b₅) besser entwickelte. Nach dem Winterhochwasser 2010/2011 breiteten sich im Primäraufwuchs 2011 vor allem Wiesenrispe, Wiesenfuchsschwanz und Großer Sauerampfer auf Kosten des weniger überflutungstoleranten Knauigrases aus.

Während sich bei 4-Schnittnutzung zu Versuchsbeginn in allen Düngungsvarianten die Hauptpflanzenarten relativ ausgewogen präsentierten, traten nach dem Winterhochwasser im Primäraufwuchs des 2. Versuchsjahres 2011 ähnliche Bestandsveränderungen wie bei der 3-Schnittnutzung auf (Abb. 2). In nahezu allen Parzellen verdoppelte sich von 2010 zu 2011 der Wiesenrispenanteil, auch Wiesenfuchsschwanz nahm in den Beständen leicht zu. Großer Sauerampfer und Schafgarbe wurden ebenso gestärkt, was zur Verdrängung von Rotschwingel, Weißklee und Löwenzahn führte.

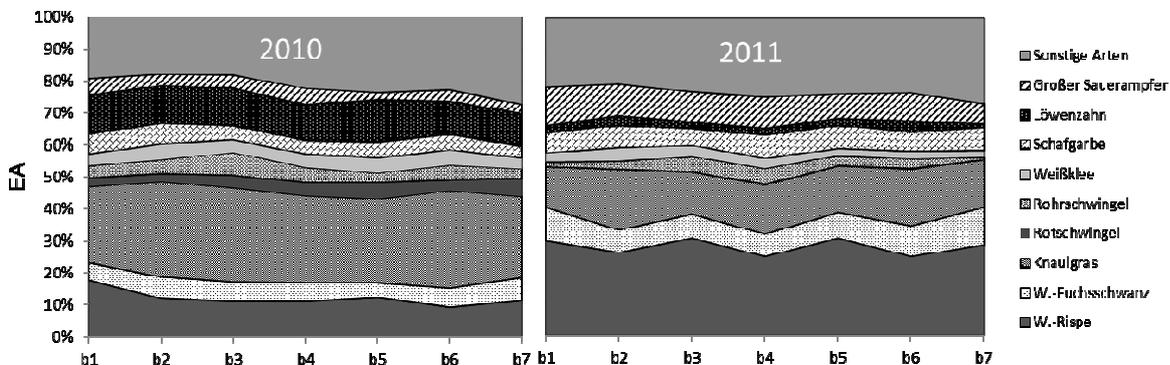


Abb. 2: Ertragsanteile (EA) wichtiger Pflanzenarten im Primäraufwuchs von Flussaue-Grünland in Abhängigkeit des Einsatzes verschiedener organischer Dünger. 4 Schnitte, Burig 2010 und 2011

Trockenmasseerträge

Im ersten Versuchsjahr 2010 lagen die TM-Jahreserträge der 3-Schnittnutzung deutlich über den TM-Erträgen der 4-Schnittnutzung (Tab. 2).

Tab. 2: TM-Erträge (dt/ha) von Flussaue-Grünland in Abhängigkeit vom Nutzungsfrequenz und Einsatz verschiedener organischer Dünger. 1. Versuchsjahr, Burig 2010

Nutzung	Org. Düngung	1. Schn.	2. Schn.	3. Schn.	4. Schn.	Jahr
3 - Schnittnutzung	b ₁	61,4	18,3	27,5	-	107,2
	b ₂	58,4*	12,8	31,0	-	102,1
	b ₃	65,1	20,5	31,6	-	117,2
	b ₄	75,4	15,8	30,5	-	121,8
	b ₅	70,3	19,9	34,2	-	124,5
	b ₆	60,9	15,4	27,6	-	103,8
	b ₇	79,1*	18,1	33,9	-	131,1
4 - Schnittnutzung	b ₁	26,2	22,3	15,4	27,0	90,9
	b ₂	26,0	24,7	13,0	25,8	89,4
	b ₃	27,7	25,8	15,8	28,3	97,5
	b ₄	35,3	25,2	17,7	26,7	104,9
	b ₅	26,8	21,7	16,3	27,3	92,1
	b ₆	27,1	22,5	14,8	25,6	90,1
	b ₇	36,3	25,9	14,0	27,6	103,8

* signifikanter Unterschied bei GD α 5 %

Nur im 1. Aufwuchs der 3-Schnittnutzung traten im Jahr 2010 zwischen den Düngungsstufen Mutterkuhmist (0,5 DE, 40 kg N/ha, b₂) und Gärrest (1,4 DE, 112 kg N/ha, b₇) signifikante Unterschiede im TM-Ertrag zugunsten der höheren Gärrestmenge auf. Offenbar wurde hier im witterungsmäßig trockenen April 2010 der im Gärrest gelöste Stickstoff schneller pflanzenwirksam und in mehr Biomasse umgesetzt. Ansatzweise zeigte sich die bessere Verwertung der Gärrest-Nährstoffe auch im 1. Aufwuchs der 4-Schnittnutzung (Stufen b₄, b₇). In der Tendenz sind beim TM-Jahresertrag der 3- und 4-Schnittnutzung ebenso Vorteile für den Gärreisteinsatz sichtbar. Das dreimonatige Hochwasser 2010/2011 verzögerte die Frühjahrsentwicklung der Grünlandbestände, so dass im Jahr 2011 die TM-Erträge im Primäraufwuchs und im Gesamtertrag geringer als im Jahr 2010 ausfielen. Die vor allem im 1. Aufwuchs ermittelten Ertragszunahmen durch die geprüften organischen Dünger waren jedoch nicht signifikant (Tab. 3).

In den Folgeaufwüchsen wurden durch den Einsatz der organischen Dünger bei 3- und 4-Schnittnutzung teilweise geringere TM-Erträge erreicht als in der Kontrollvariante. Die Ursachen für diese differenzierte Entwicklung sind vielfältig. Alle Grünlandbestände mussten nach dem Winterhochwasser den Rückgang der Knautgrasanteile kompensieren. Auch trat im Frühjahr 2011 erstmals durch den Mutterkuh- und Pferdedung eine größere Bedeckung der Pflanzenbestände auf und schließlich waren die Niederschlagshöhe und ihre Verteilung im Jahr 2011 besser als 2010, so dass die TM-Erträge der Kontrollparzellen vergleichsweise hoch und dadurch die Mehrertragswirkung der untersuchten organischen Dünger geringer ausfiel. Auch sind überschwemmungsbedingte Stoffverlagerungen zwischen den Parzellen nicht auszuschließen. Insofern sind weitere Untersuchungen am Standort erforderlich, um die in

der Literatur beschriebene Anreicherung von Nährstoffen durch organische Dünger (PÖTSCH, 2011) nachzuweisen und ihre Nutzung durch ein standortangepasstes Düngermanagement zu sichern.

Tab. 3: TM-Erträge (dt/ha) von Flussaue-Grünland in Abhängigkeit vom Nutzungsfrequenz und Einsatz verschiedener organischer Dünger. 2. Versuchsjahr, Burig 2011

Nutzung	Org. Düngung	1. Schn.	2. Schn.	3. Schn.	4. Schn.	Jahr
3 - Schnittnutzung	b ₁	47,3	19,1	24,9	-	91,3
	b ₂	46,4	17,1	26,4	-	90,0
	b ₃	56,7	19,2	24,2	-	100,0
	b ₄	50,9	17,2	25,9	-	94,0
	b ₅	57,2	19,2	28,9	-	105,3
	b ₆	56,1	19,2	29,9	-	105,2
	b ₇	57,1	16,3	21,6	-	95,0
4 - Schnittnutzung	b ₁	39,3	20,1	14,3	18,9	92,7
	b ₂	43,4	15,8	13,0	20,2	92,3
	b ₃	48,6	20,3	12,5	21,4	102,8
	b ₄	49,8	24,3	14,7	21,7	110,4
	b ₅	45,2	21,6	13,7	22,7	103,3
	b ₆	43,3	22,5	16,3	24,6	106,7
	b ₇	53,4	17,6	15,2	19,8	106,1

4. Schlussfolgerungen

Im Frühjahr in der Spree-Flussaue zu Grünland eingesetzte organische Dünger bewirkten nach zwei Jahren nur geringe Bestandsveränderungen. Ein Hochwasser senkte den Knautgrasanteil, und es stiegen die Ertragsanteile von Wiesenrispe, Wiesenfuchsschwanz sowie diverser Kräuter. Nur im ersten Versuchsjahr 2010 führte die höhere Gärrestgabe im Primäraufwuchs der 3-Schnittnutzung zu signifikant höheren TM-Erträgen. In der Tendenz erhöhten die geringen und höheren organischen Düngergaben (Äquivalent 40 bzw. 112 kg N/ha) die TM-Jahreserträge um 5 bzw. bis 10 %. Auf Grund der großen Standortheterogenität in der Spree-Flussaue bewirkte der bisherige Einsatz organischer Wirtschaftsdünger vorrangig bestands- und ertragsstabilisierende Effekte. Zur Ableitung von Empfehlungen zum standortgerechten Einsatz organischer Dünger auf Flussaue-Grünland sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Literatur

- BAUMECKER, M. (2012): Witterungsdaten 2010 und 2011 Versuchstation Thyrow. Schriftliche Mitteilung. Humboldt-Universität zu Berlin.
- BUCHGRABER, K., GINDL, G. (2004): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung. L. Stocker Verlag, Graz-Stuttgart.
- KLAPP, E. (1971): Wiesen und Weiden - Eine Grünlandlehre. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- OPITZ VON BOBERFELD, W. (1994): Grünlandlehre. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- PÖTSCH, E. M. (2011): Nährstoffgehalt und Wirksamkeit von Wirtschaftsdüngern im Grünland. In Tagungsband: Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, S.178-184., Hrsg.: ELSÄßER et al., Kloster Reue.
- SCHWEITZER, K. (2006): Standortbeschreibung von Grünland-Versuchspartellen in Burig/Neu Zittau. Schriftliche Mitteilung. Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre, Humboldt-Universität zu Berlin.

Produktivität und Futterqualität von bewirtschaftetem naturnahen Grünland unterschiedlicher Phytodiversität

Tatiana From, Johannes Isselstein

GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,
E-mail: tfrom@gwdg.de

1. Einleitung und Problemstellung

Landnutzungsänderungen im zwanzigsten Jahrhundert haben sich auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft ausgewirkt. Die Intensivierung der Landwirtschaft in Europa seit 1960er Jahren hat häufig zum Umbruch von Grünland für Ackerbau geführt. Viele Dauergrünlandflächen wurden gedüngt und intensiver genutzt. So sind einige Pflanzengesellschaften stark zurückgegangen.

Seit einiger Zeit beschäftigt sich die Forschung mit der Untersuchung der Biodiversität und ihrer Bedeutung für Produktivität und Ökosystemprozesse im Grünland.

In einer Reihe von Biodiversitätsexperimenten wurde ein positiver Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Produktivität nachgewiesen (Hooper *et al.* 2005). Viele dieser Experimente wurden auf speziell für die Versuche angesäten Flächen durchgeführt. Das Grassland Management Experiment der Universität Göttingen (GrassMan) befasst sich dagegen mit den verschiedenen Aspekten der Produktivität und Futterqualität von langjährig bewirtschaftetem naturnahen Dauergrünland unterschiedlicher Phytodiversität.

2. Material und Methoden

Die experimentelle Fläche befindet sich in der Nähe von Neuhaus im Solling (51°44' N, 9°32' E) auf 490 m üNN. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 6,9°C, der jährliche Niederschlag 1031 mm (1961-1990, Deutscher Wetterdienst (DWD)).

Das experimentelle Design umfasst drei Hauptfaktoren: Grasnarbentyp (Kontrolle (Co); Dikotyl reduziert (-Dic) und Monokotyl reduziert (-Mon) jeweils durch Herbizidapplikation erzeugt), Schnittregime (1 Schnitt (1x) im Jahr (Mitte Juli) und 3 Schnitte (3x) im Jahr (Mitte Mai, Mitte Juli und Ende September)), sowie Düngungsintensität (keine Nährstoffe und 180-30-100 kg/ha und Jahr von N, P und K (NPK)). Die 12 Behandlungen, die sich aus der Kombination dieser Faktoren ergeben, wurden auf Parzellen von 15x15 m Größe etabliert. Sie sind in 6 randomisierten Blöcken repliziert und in Form eines Lateinischen Rechtecks angeordnet (in 6 Reihen und 12 Spalten). Die Herbizidbehandlung wurde im Juni 2008 durchgeführt. Seitdem fand zwei Mal jährlich - im Mai und August - ein Monitoring der Vegetationszusammensetzung statt. Es wurden dabei die Ertragsanteile der einzelnen Arten (nach Klapp/Stählin 1936) ermittelt, sowie die Ertragsanteile der drei funktionellen Gruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen. Alle zwei Wochen wurde die Narbenhöhe mit einem „rising-plate-meter“ gemessen.

Die Produktivität der Fläche (erntbare Biomasse) wurde an den drei Ernteterminen ermittelt. Dazu wurden 10 % des Aufwuchses der Parzelle gemäht (Schnitthöhe 7 cm, Haldrup® Grünfütterernter) und sofort gewogen und auf den Ertrag der Gesamtparzelle hochgerechnet. Aus dem Erntegut wurden Mischproben für die Bestimmung

des Wassergehaltes und der Futterqualitätsparameter genommen. Die Futterqualität dieser Proben wurde durch NIRS-Analyse (Nahrotinfrarotspektroskopie) gemessen, die Mineralgehalte mittels Veraschen von Teilproben bestimmt. Die P- und K- Gehalte der Pflanzenproben wurden nasschemisch ermittelt.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit dem Programm R (Version 2.12.2, R-project.org). Als Datengrundlage wurden die Jahre 2010 und 2011 genutzt. Die Daten wurden graphisch auf Normalverteilung und Homogenität der Residuen untersucht. Die Varianzanalyse erfolgte mittels ANOVA der linearen Modelle mit Block und Reihe als räumliche Faktoren und Grasnarbentyp (bzw. Anteile funktioneller Gruppen), Düngung und Schnitthäufigkeit als Hauptfaktoren. Weitere Daten aus dem Jahr 2009 sind in From *et al.* (2011) zu finden.

3. Ergebnisse und Diskussion

In den vorliegenden Daten aus den Jahren 2009 bis 2011 haben weder Artenzahl (Abb. 1) noch unterschiedliche Diversitätsindices (Shannon Diversity, Simpson Diversity, Evenness - Daten nicht gezeigt) den Ertrag der Flächen erklärt.

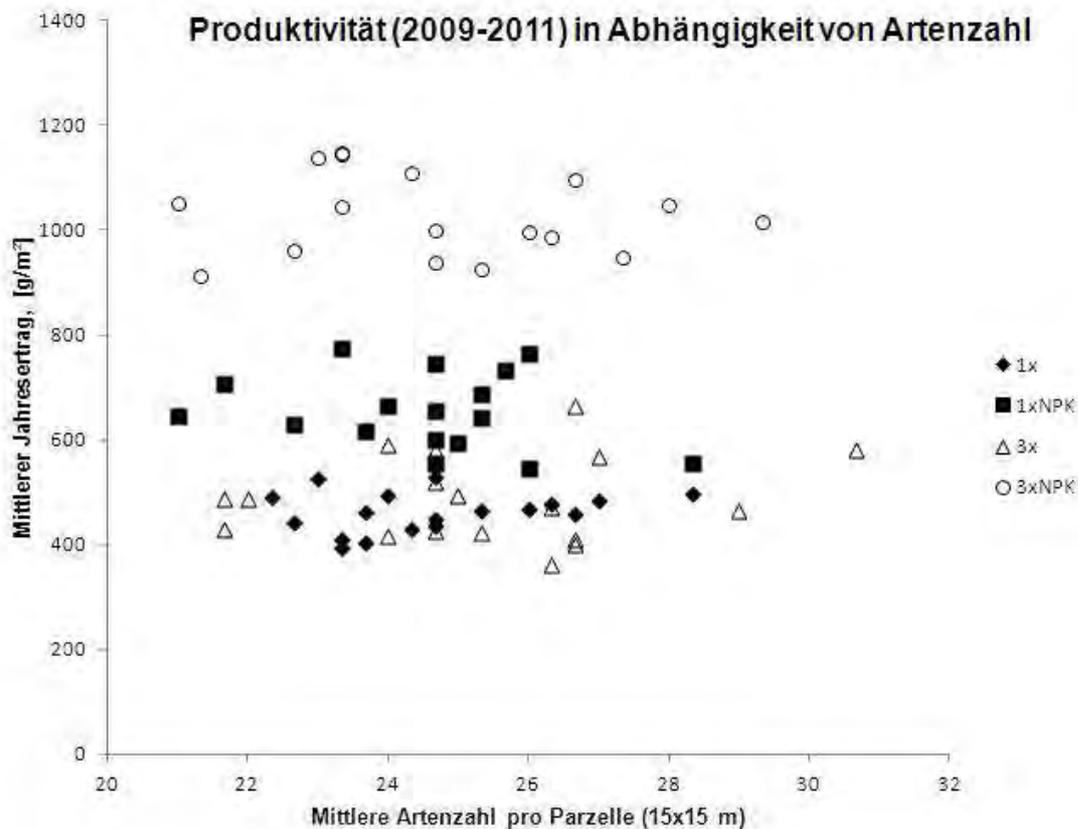


Abb.1: Produktivität der Grünlandparzellen in Abhängigkeit von der Artenzahl. 1x: ein Schnitt pro Jahr, keine Düngung; 1xNPK: ein Schnitt, mit Düngung; 3x: drei Schnitte, keine Düngung; 3xNPK: drei Schnitte, mit Düngung.

In den Jahren 2009-2010 bestand darüber hinaus auch kein Zusammenhang zwischen der funktionellen Diversität und der Produktivität. Dies steht im Gegensatz zu anderen Biodiversitätsexperimenten, in denen ein positiver Zusammenhang zwischen Artenzahl und Produktivität nachgewiesen wurde (Hector *et al.* 1999). Die na-

türliche Variabilität der Grasnarbe im GrassMan-Experiment und die relativ hohe Artenzahl (12-15 Arten pro m²) im Vergleich zu anderen Experimenten (meist unter 10 Arten auf m² (Hector *et al.* 1999)) sorgen vermutlich dafür, dass die verfügbaren Ressourcen effektiv genutzt werden. Als maßgebliche Faktoren der Produktivität wurden Schnitthäufigkeit und Düngung identifiziert (Tab. 1).

Tab. 1: Einfluss der experimentellen Faktoren auf die Jahreserträge 2009, 2010 und 2011 in den einzelnen Behandlungsvarianten. ANOVA mit Block und Reihe als räumlichen Faktoren. Antwortvariable Ertrag nicht transformiert (2010, 2011) bzw. Wurzel-transformiert (2009). Sternchen stehen für Signifikanz der Faktoren zur Erklärung des Ertrags (* P < 0,05, ** P < 0,01, *** P < 0,001).

Faktoren	erklärte Varianz,% 2009	erklärte Varianz,% 2010	erklärte Varianz,% 2011
Block	1,67	3,96**	1,36
Reihe	2,73	5,0**	1,9
Grasnarbentyp	0,19	2,34**	0,16
Düngung	58,47***	34,92***	81,26***
Schnitthäufigkeit	10,35***	24,71***	1,34*
Dün- gung:Schnitthäufigkeit	8,62***	16,96***	4,09***
Residuen	17,96	12,11	11,24

Der Faktor Grasnarbentyp (funktionelle Diversität) erklärte nur im zweiten Jahr einen Teil der Varianz der Biomasse. Möglicherweise ist der Grund dafür die Trockenheitsperiode im Juni, durch die sich die Düngung weniger stark als üblich auf die Biomassebildung ausgewirkt haben könnte. Die Kontroll-Parzellen (Co) im Jahr 2010 haben daher teilweise höhere Erträge erbracht, als die -Dic Behandlungsvariante, die von Gräsern dominiert war. Im Jahr 2011 hat der Faktor Düngung mehr als 80% der Biomassebildung erklärt. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass die Herbizid Effekte auf die funktionelle Diversität zu diesem Zeitpunkt kaum mehr nachweisbar waren: die mittleren Gras-, Kraut- und Leguminosenanteile (G-K-L) lagen bei 71%G-26%K-1,4%L in den Co Parzellen, 74%G-25%K-0,5%L in den -Dic Parzellen und 68%G-29%K-2%L in den -Mon Parzellen. Im Jahr 2011 zeigte sich jedoch, dass mit steigenden Grasanteilen die Produktivität der Grasnarbe stieg ($R^2 = 0,61$), mit steigenden Krautanteilen dagegen sank ($R^2 = 0,57$).

Die Jahreserträge im Jahr 2009 reichten von 60 dt/ha in den einmal geschnittenen nicht gedüngten Parzellen bis 120 dt/ha in den dreimal geschnittenen gedüngten Parzellen. Die Höchstwerte waren 2009 höher als in den beiden darauf folgenden Jahren, was teilweise wetterbedingt (geringer Niederschlag im Mai und September) sein könnte. Die Jahreserträge 2010 und 2011 sind auf der Abb. 2 zu sehen.

Zwischen den Grasnarbentypen der 1-Schnitt Variante in beiden Jahren 2010 und 2011 gab es innerhalb einer jeden Düngungsstufe keine signifikanten Ertragsunterschiede. Das gleiche galt für die 3-Schnitt Varianten.

Auf den dreimal geschnittenen nicht gedüngten Parzellen unterschieden sich die Erträge signifikant zwischen den Jahren: im Jahr 2011 waren die Erträge niedriger als 2010 (19,6 dt/ha niedriger). Die Erträge auf den dreimal geschnittenen gedüngten Parzellen waren ebenfalls geringer im Vergleich zum Jahr 2010 (17,6 dt/ha Unter-

schied), was teilweise durch niedrige Wachstumsraten im Mai und September 2011 (Daten nicht gezeigt) bedingt war.

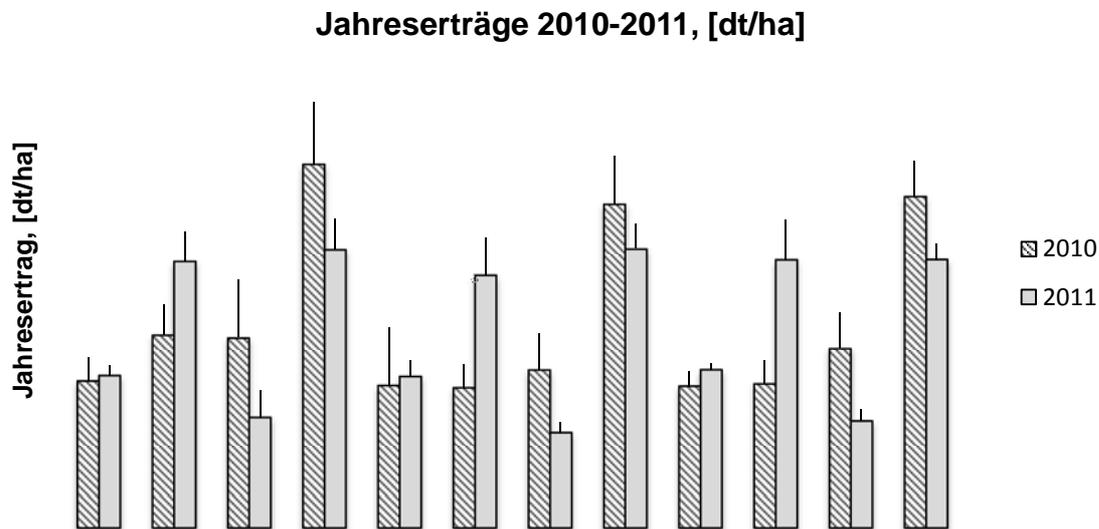


Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Jahreserträge der einzelnen Behandlungsvarianten 2010 und 2011 (Abkürzungen siehe Material und Methoden).

Die Analyse der Futterqualitätsparameter zeigte eine relativ hohe Futterqualität des ersten Aufwuchses in den dreimal geschnittenen Parzellen: die Netto-Energie-Laktation betrug ca. 6 MJ/kg Trockenmasse in allen Jahren des Experiments. Im Jahr 2011 gab es jedoch je nach Schnittzeitpunkt Unterschiede in der Qualität der ersten Aufwüchse: die früheren Aufwüchse, die im Mai geschnitten wurden, hatten höhere Roheiweiß (XP)-Gehalte ($P < 0,001$) und niedrigere Gehalte an Säurelöslicher Faser (ADF) ($P < 0,001$) (Abb. 3). Sie unterschieden sich außerdem in den Rohzucker (XZ)- und Rohfett (XF)-Gehalten ($P < 0,001$ bei beiden) von den Parzellen, die später im Jahr (Mitte Juli) geschnitten wurden. Der Grasnarbentyp hatte im Jahr 2011 signifikanten Einfluss auf die K- ($P < 0,05$) und Rohfett (XF)- ($P < 0,01$) Gehalte, sowie in Interaktion mit der Düngung auf metabolisierbare Energie (ME) ($P < 0,05$).

Die Unterschiede in XP- und ADF- Gehalten zwischen den Aufwüchsen wurden vor allem durch das Alter der Grasnarbe verursacht und weniger durch die Zusammensetzung der Vegetation, was in den relativ kleinen Unterschieden in den Anteilen der funktionellen Gruppen in der Grasnarbe begründet liegt.

4. Schlussfolgerungen

Die Jahreserträge wurden kaum durch die botanische Zusammensetzung der Grasnarbe beeinflusst. Düngung und Schnitthäufigkeit haben größtenteils die Produktivität erklärt. Im Jahr 2011 haben höhere Grasanteile und niedrigere Krautanteile für eine höhere Biomasseproduktion gesorgt. Die Futterqualität zwischen den ersten Aufwüchsen unterschied sich hauptsächlich aufgrund des Alters der Grasnarbe.

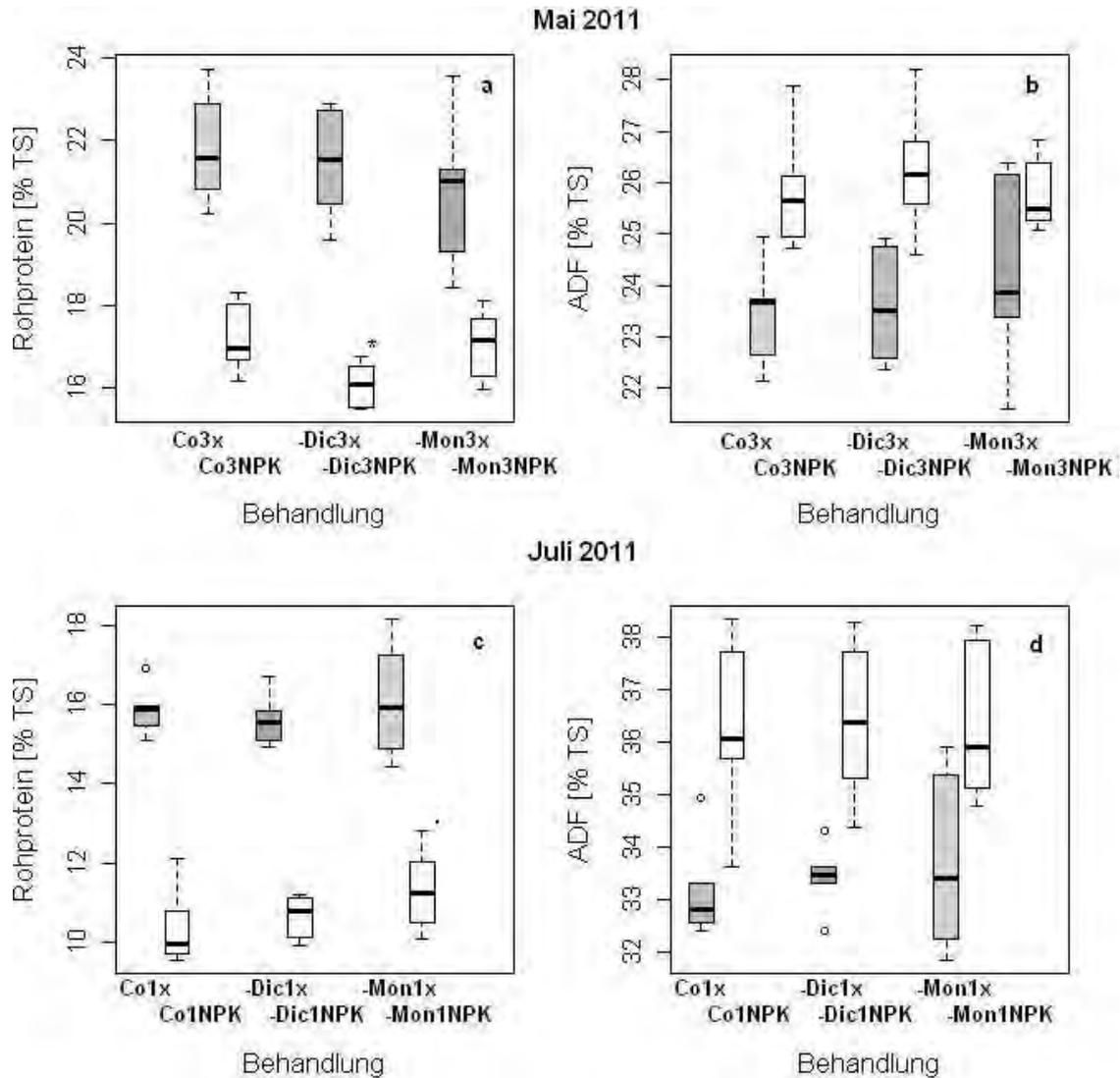


Abb. 3. Futterqualitätsparameter der ersten Aufwüchse Mai (a, b) und Juli (c, d) 2011 in Abhängigkeit von der Behandlungsvariante, n=6. Sternchen/Punkte geben signifikante Unterschiede zur Kontrollgrasnarbe (Co) der jeweiligen Düngungsstufe an: $P < 0.1$, $*P < 0.05$. Lineare Kontraste, Werte der Zielvariablen nicht transformiert.

Literatur

- FROM, T., PETERSEN, U., ISSELSTEIN, J. (2011): Produktivität und Futterqualität von naturnahem Grünland unterschiedlicher funktioneller Diversität unter verschiedener Bewirtschaftungsintensität. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau. Band 12, 163-168.
- HECTOR, A., SCHMID B., BEIERKÜHNLEIN, C., CALDEIRA, M.C., DIEMER, ET AL. (1999): Plant diversity and productivity experiments in European Grasslands. Science 286, 1123-1127.
- HOOPER, D., CHAPIN, F., HECTOR, A., EWEL, J., INCHAUSTI, P., ET AL. (2005): Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecological Monographs, 75(1), 3-35.
- KLAPP, E., STÄHLIN, A. (1936): Standorte, Pflanzengesellschaften und Leistung des Grünlandes. Stuttgart, Ulmer.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2010): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Produktivität und Futterqualität von Dauergrünland bei veränderter Artenzusammensetzung unter Beweidung mit Schafen und/oder Rindern

J.S. Jerrentrup, J. Isselstein

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen
Email: sjerren@gwdg.de

1. Einleitung und Problemstellung

Eine Verbindung zwischen Grünland-Produktivität und Phytodiversität wurde in letzter Zeit kontrovers diskutiert: In künstlich angelegten Experimenten konnte häufig ein positiver Zusammenhang festgestellt werden (HECTOR *et al.* 1999, TILMAN *et al.* 1996), während dieser Effekt im Dauergrünland nicht immer nachzuweisen war (z.B. KAHMEN *et al.* 2005).

In dieser Untersuchung soll daher gezeigt werden, ob durch die Modifikation der botanischen Zusammensetzung einer alten Dauergrünlandnarbe der Ertrag beeinflusst wird. Zusätzlich zur veränderten Artenzusammensetzung soll in der vorliegenden Studie der Einsatz von unterschiedlichen Weidetieren in Mischbeweidung untersucht werden, welcher ebenfalls Möglichkeiten der Ertragssteigerung bietet. So lässt sich vermuten, dass Rinder und Schafe eine Fläche gleichmäßiger nutzen können, da Schafe zwar einerseits stärker selektieren, aber andererseits keine so starke Meidung der Geilstellen aufweisen wie Rinder (ABAYE *et al.* 1994).

Weiterhin stellt sich die Frage, ob durch die Manipulation der Artenzusammensetzung und das variierte Beweidungsmanagement nicht nur ein Effekt auf die Futterquantität, sondern auch auf die -qualität abgeleitet werden kann.

2. Material & Methoden

Der Versuchsstandort liegt in Südniedersachsen am Rande des Solling (N: 51°46'47", O: 9°42'11") und ist Teil der Versuchsgutes Relliehausen der Georg-August-Universität Göttingen. Die Flächen können dem *Lolio-Cynusuretum* zugeordnet werden und sind moderat artenreich. Die Versuchsfläche umfasst 18 Parzellen (je 0,5 ha), aufgeteilt in 3 Blöcke. Die Hälfte der Parzellen wurde mit Herbiziden (Duplosan, Starane Ranger) behandelt, so dass hauptsächlich monokotyle Pflanzen übrig blieben (gras-dominierte Narbentyp). Die andere Hälfte blieb unbehandelt (diverser Narbentyp). Die so erreichte Reduzierung des Artenreichtums blieb im Versuchsverlauf signifikant ($p < 0,01$; 2010 im Mittel 8,2 Arten auf den gras-dominierten Narben und 11,8 auf den diversen). Die behandelten Flächen wiesen 2010 Ertragsanteile von 99,2 % Gräsern, 0,7 % Kräutern und 0,1 % Leguminosen auf, dahingegen bestand die Zusammensetzung der unbehandelten, diversen Narben aus 57 % Gräsern, 37 % Kräutern und 6,1 % Leguminosen. Als zweiter Faktor wurde das Beweidungstier variiert: entweder Schaf oder Rind in Monobeweidung oder beide Tierarten zusammen in Mischbeweidung. Dafür wurden Schwarzköpfige Fleisch- sowie Leineschafe bzw. Rinder der Rasse Fleckvieh in Muttertierhaltung eingesetzt. Aus der Kombination dieser Faktoren entstanden die sechs Varianten. Der Versuch wur-

de in Form der Umtriebsweide gehandhabt und die Blöcke nacheinander beweidet. Insgesamt wurden drei Durchgänge pro Jahr durchgeführt (1: Mai, 2: Juni, 3: August/September/Okttober), wobei die Parzellen in den ersten beiden Durchgängen mit einem Startgewicht von 6 GV/ha bestockt wurden und für den letzten Durchgang 4 GV/ha eingesetzt wurden.

Der Versuch wurde 2007 eingerichtet und wird seitdem in gleicher Weise bewirtschaftet. Innerhalb dieses Beitrags werden die Ergebnisse der Jahre 2010 und 2011 vorgestellt.

Vor Auftrieb und nach Abtrieb wurde die Grasnarbenhöhe gemessen, wofür jeweils 50 Messungen mit dem Rising Plate Meter (CASTLE 1976) durchgeführt wurden. Zusätzlich wurden 4 Schnittproben (innerhalb eines 30 cm-Ringes) pro Parzelle genommen und zuvor für jeden Schnitt die jeweilige Narbenhöhe notiert. Die Proben wurden getrocknet (48 h, 60°C) und gewogen.

Aus dem Zusammenhang zwischen Narbenhöhe und Biomasse wurden Kalibrationen pro Parzelle und Jahr berechnet (Bestimmtheitsmaße aller Regressionen im Mittel $0,77 \pm 0,11$), aus denen die Produktivität der Flächen abgeleitet wurde (analog SEITHER *et al.* 2012).

Die Futterqualität wurde anhand der vermahlenden Auftriebs-Schnittproben mittels NIRS (Nahinfrarotspektroskopie) abgeschätzt.

Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programm R (R Development Core Team 2012). Für die Ermittlung der Bruttoweideleistung wurde pro Jahr eine zweifaktorielle ANOVA mit Grasnarbentyp und Beweidungstierart als Faktoren angewendet. Für die Qualitätsanalyse wurden alle NIRS-Proben mit einem H-Wert > 3 aus der Analyse entfernt. Die Parameter Rohprotein (XP), Rohzucker (XZ) und Lignozellulose (oADF) wurden in separaten Modellen jeweils pro Jahr auf den Einfluss der festen Faktoren Durchgang, Grasnarbentyp und Beweidungstierart, als auch auf die Interaktion der letzten beiden Terme getestet. Selbiges erfolgte für den Energiegehalt (ME, Berechnung siehe SEITHER *et al.* 2012) im Jahr 2010. Um die mehrfache Beprobung pro Parzelle zu berücksichtigen wurden gemischte Modelle angewendet. Die Prüfung der Modellvoraussetzungen erfolgte visuell. Schließlich kam eine Modellvereinfachung mittels AIC (Akaike's Information Criterion) zum Einsatz.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Bruttoweideleistung sind in Tab. 1 dargestellt. Insgesamt beeinflusste weder der Narbentyp noch die Beweidungstierart die Produktivität signifikant. Eine positive Verbindung zwischen pflanzlicher Diversität und Ertrag wie von HECTOR *et al.* (1999) und TILMAN *et al.* (1996) beschrieben, konnte nicht beobachtet werden. Auf der untersuchten Versuchsfläche kann daher die Hypothese einer komplementären Ressourcennutzung bei gesteigerter Pflanzenartenvielfalt (TILMAN *et al.* 1996) nicht bestätigt werden, was auch für die ersten drei Jahre des Versuches zutrifft (SEITHER *et al.* 2012). Denkbar ist hier, dass die zugrunde liegende Phytodiversität auch in den gras-dominierten Varianten bereits hoch genug war, um die genannte Komplementarität erzeugen zu können (WRAGE *et al.* 2011).

Auch die Beweidungstierart stellte sich als nicht beeinflussend heraus. Ein Ergebnis, welches auch in den ersten drei Versuchsjahren beobachtet wurde (SEITHER *et al.*

2012). Eine mögliche Erklärung wäre hier, dass die Tiere zu lange auf den Flächen verblieben, so dass für sie keine Möglichkeit mehr bestand, noch selektiv fressen zu können. Dieses müsste in weiteren Studien näher ins Auge gefasst werden.

Tab. 1: Bruttoweideleistung in Abhängigkeit von Narbentyp und Beweidungstierart ($t\ ha^{-1}$, Mittelwerte \pm Standardabweichung). Die statistische Analyse (ANOVA) pro Jahr ergab keine signifikanten Unterschiede.

Jahr	Gras-dominierte Narbe			Diverse Grasnarbe		
	Rinder	Rinder & Schafe	Schafe	Rinder	Rinder & Schafe	Schafe
2010	4,34 \pm 1,01	3,80 \pm 0,22	4,61 \pm 0,29	4,27 \pm 0,26	3,74 \pm 0,12	4,51 \pm 1,03
2011	6,09 \pm 1,14	6,51 \pm 1,54	5,40 \pm 0,79	4,63 \pm 1,25	6,14 \pm 0,88	5,39 \pm 0,66

Hinsichtlich der Futterqualität war der Rohproteinanteil auf den diversen Beständen in beiden Jahren signifikant höher als auf den gras-dominierten Narben (s. Abb. 1a und 1d, Tab.2). Im Jahr 2010 wurde auch die Rohzuckerfraktion (1b) leicht durch den Grasnarbentyp beeinflusst. Zusätzlich zeigte sich für 2011 ein tendenziell geringerer Lignocellulose-Anteil im artenreicheren Grasnarbentyp (Abb. 1f), das weist auf eine etwas bessere Verdaulichkeit hin. Obwohl sich der Narbentyp nicht auf den Energiegehalt auswirkte (Tab. 2, ME-Gehalte Durchgang 1: 11,26 MJ/kg TM, 2: 11,09 MJ/kg TM, 3: 10,58 MJ/kg TM), so lässt sich insgesamt doch eine eher positivere Bewertung der Futterqualität durch das verstärkte Auftreten von Dikotylen auf den artenreichen Varianten zusammenfassen, wie es auch von BRUINENBERG *et al.* (2002) beschrieben wurde.

Bezüglich der Mono- bzw. Mischbeweidung konnten keine signifikanten Effekte festgestellt werden (Abb. 1, Tab. 2).

4. Schlussfolgerungen

Entgegen der Hypothese zeigte die Mischbeweidung keine Vorteile gegenüber den monobeweideten Varianten. Auch beeinflussten weder Schafe noch Rinder die Qualitäts- und Produktivitätsmerkmale.

Dahingegen wiesen die artenreicheren Parzellen zwar keine höheren Erträge auf, waren jedoch den artenärmeren, mit Herbiziden behandelten Grasnarben in Qualitätsgesichtspunkten, vor allem im Rohproteinanteil, überlegen. Damit bieten diese sowohl artenreicheren als auch funktionell diverseren Narben einen agronomischen Vorteil, da sie einerseits mit den gras-dominierten Beständen im Ertrag konkurrieren können, andererseits aber eine gesteigerte Futterqualität aufweisen.

Kurzvorträge: Sektion Futterqualität und Pflanzenbestand

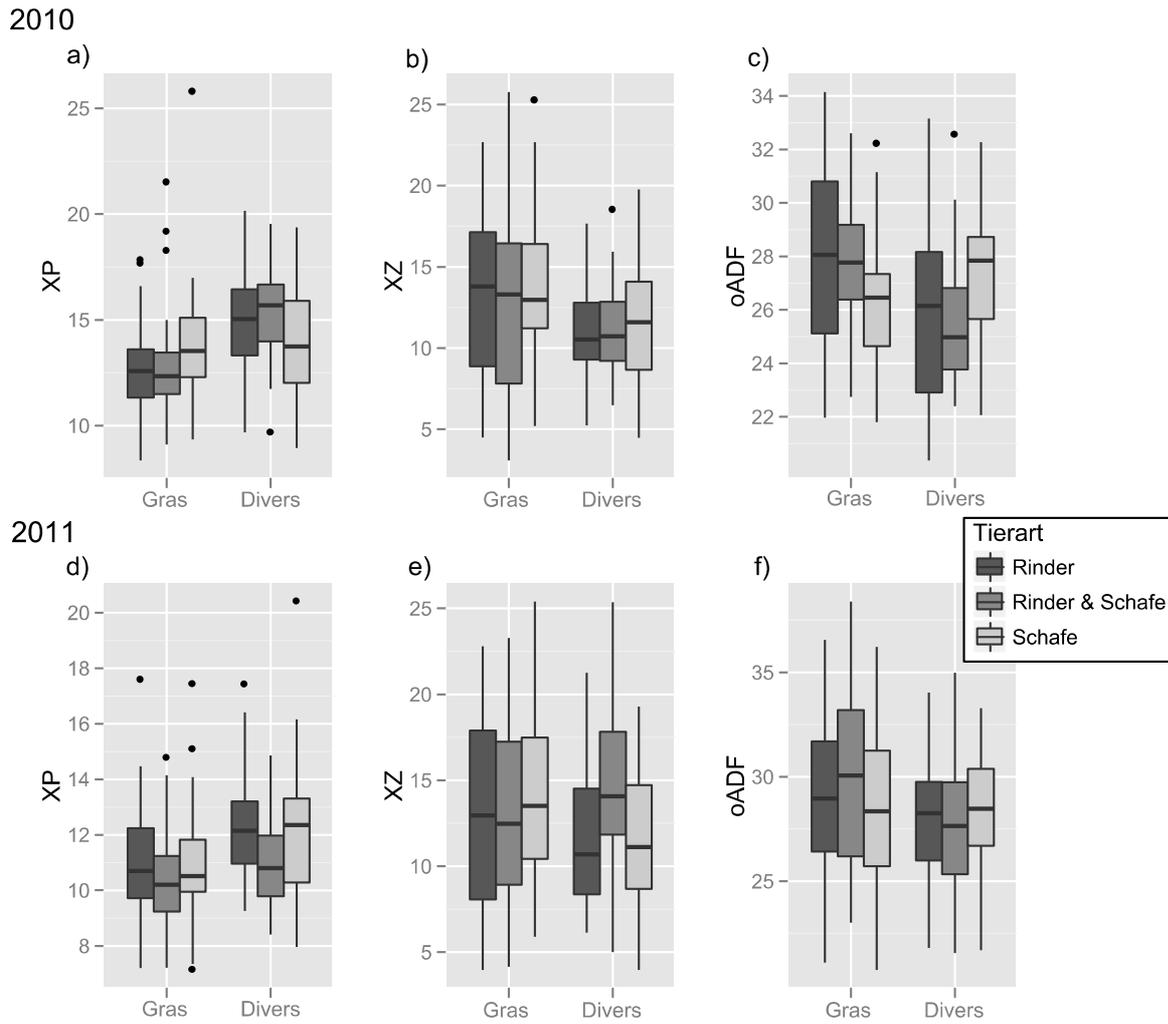


Abb.1: Verschiedene Futterqualitätsparameter in Abhängigkeit von Grasnarbe (grasdominiert = Gras, Kontrolle = Divers) und Beweidungstierart, jeweils in % TM. 1a-c) Jahr 2010, 1d-f) Jahr 2011.

Tab. 2: P-Werte (F-Statistik) der Effekte hinsichtlich verschiedener Futterqualitätsparameter. Die Modellvereinfachung der gemischten Modelle wurde mittels AIC durchgeführt. Eliminierte Terme sind mit einem „-“ gekennzeichnet.

Jahr	Durchgang	Narbentyp	Tierart	Narbentyp x Tierart	
2010					
	Log(XP)	-	0,002	0,851	0,057
	XZ	<0,001	0,042	-	-
	oADF	<0,001	0,130	0,843	0,136
	ME	<0,001	0,276	0,708	0,243
2011					
	Log(XP)	<0,001	0,006	0,117	-
	XZ	<0,001	0,213	0,294	0,143
	oADF	<0,001	0,093	-	-

Literatur

- ABAYE, A.O., ALLEN, V.G., FONTENOT, J.P. (1994): Influence of grazing cattle and sheep together and separately on animal performance and forage quality. *Journal of Animal Science* 72, 1013–1022.
- BRUINENBERG, M.H., VALK, H.H., KOREVAAR, H. & STUIK, P.C. (2002): Factors affecting digestibility of temperate forages from semi-natural grassland. *Grass and Forage Science* 57, 292–301.
- CASTLE, M.E. (1976): A simple disc instrument for estimating herbage yield. *Journal of the British Grassland Society* 31, 37 – 40.
- HECTOR A. et al. (1999): Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286, 1123-1127.
- KAHMEN, A., PERNER, J., AUDORFF, V., WEISSER, W. & BUCHMANN, N. (2005): Effects of plant diversity, community composition and environmental parameters on productivity in montane European grasslands. *Oecologia* 142, 606–615.
- SEITHER, M., WRAGE, N. & ISSELSTEIN, J. (2012): Sward composition and grazer species effects on nutritive value and herbage accumulation. *Agronomy Journal* 104, 497-506.
- TILMAN, D., WEDIN, D., KNOPS, J. (1996): Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379, 718-720.
- WRAGE, N., STRODTHOFF, J., CUCHILLO, H.M., ISSELSTEIN, J. & KAYSER, M. (2011): Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation* 20, 3317-3339.

Einfluss der Grasart auf die N-Effizienz von Gärresten

Meike Andruschkewitsch¹, Christine Wachendorf², Michael Wachendorf¹

¹ UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE
ROHSTOFFE,

Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen

² UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET BODENBIOLOGIE UND PFLANZENERNÄHRUNG,
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen
m.andruschkewitsch@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Die Verwertung von Grünlandsilage aus extensiver Nutzung gestaltet sich hinsichtlich der Nutzungsformen Verbrennung und anaerobe Vergärung problematisch. Um diese Biomasse dennoch energetisch verwerten zu können und die Nutzung extensiver Schnittwiesen zu gewährleisten, wird im „Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB)“-Verfahren die lignin- und faserreiche Fraktion der Silage vor der Vergärung mechanisch separiert und zu Pellets für die Verbrennung verarbeitet. Der verbleibende mineralreiche Presssaft wird vergoren. Der Gärrest aus diesem System ist gegenüber Gärresten aus der Ganzpflanzenvergärung an Trockenmasse (TM) und Kohlenstoff (C) abgereichert. N-Mineralisations- und N-Immobilisationsprozesse werden durch die Gärresteigenschaften (z.B. TM-, C-, NH_4^+ -Gehalt, C/N Verhältnis der organischen Substanz) beeinflusst (MERZ und TRÖSCH 1989). Das Ziel des Versuches war es daher die Wirkung des IFBB Gärrestes auf die N-Nutzungseffizienz verschiedener Grasarten zu untersuchen.

2. Material und Methoden

Unter standardisierten Gewächshausbedingungen wurde ein vollrandomisiertes Gefäßexperiment mit IFBB-Gärrest (IFBB) (TM 1.4 [% FM], C 24.8 [% TM], $\text{C}/\text{N}_{\text{org}}$ 9.7 [-]) und einem Gärrest aus der Ganzpflanzenvergärung (GPV) (TM 11.3 [% FM], C 34.8 [% TM], $\text{C}/\text{N}_{\text{org}}$ 14.6 [-]) als Vergleichsvariante durchgeführt. Die Gärrestvarianten wurden einmalig und mit N_{min} -Aufwand-mengen von 0, 10 und 20 g $\text{N}_{\text{min}} \text{m}^{-2}$ appliziert. Als Grasarten wurden *Lolium perenne* (n=4), ein wichtiges Grünlandgras intensiver Schnittwiesen, sowie *Festuca rubra rubra* und *Trisetum flavescens* (n=3), zwei häufiger in extensiven Schnittwiesen vorkommende Gräser, verwendet. Um die N-Nutzungseffizienz zu quantifizieren wurde die „mineral nitrogen use efficiency“ (NUE_{min}) nach GUNNARSON et al. (2010) berechnet:

$$\text{NUE}_{\text{min}} [\%] = \frac{\text{N-Ertrag}_{\text{gedüngte}} - \text{N-Ertrag}_{\text{Kontrolle}}}{\text{N}_{\text{min}}\text{-Aufwandmenge}} \times 100$$

Tab. 1: Ergebnisse der dreifaktoriellen ANOVA (Signifikanzniveau 0.05) für die NUE_{min} der erntebaren Biomasse (ab 3cm Höhe) mit den Faktoren N_{min} -Aufwandmenge (N), Gärrestvariante (G) und Grasart (A).

	d.f.	F	P
N_{min} -Aufwandmenge (N)	1	36.9	< 0.001
Gärrestvariante (G)	1	17.0	< 0.001
Grasart (A)	2	166.6	< 0.001
NxG	1	3.5	ns
NxA	2	5.7	< 0.01
GxA	2	7.9	< 0.01
NxGxA	2	0.0	ns

3. Ergebnisse und Diskussion

Die NUE_{min} nahm im Mittel mit zunehmender N_{min} -Aufwandmenge ab (Tabelle 1, Abb.1). Diese Abnahme in der NUE_{min} kann durch zunehmende gasförmige Verluste mit zunehmender Düngergabe erklärt werden. Diese Annahme wird durch einen Versuch von SOWERS et al. (1994) unterstützt, in welchem eine niedrige NUE_{min} bei Winterweizen aufgrund übermäßiger N-Verluste nach der Applikation von hohen N-Aufwandmengen korrelierte. Die Gärrestvariante zeigte einen signifikanten Einfluss auf die NUE_{min} (Tabelle 1), wobei der IFBB Gärrest um 22% höhere Werte aufwies als GPV. Dennoch wies *F. rubra rubra* im Mittel erhöhte Werte nach GPV Anwendung auf, was in einer signifikanten Interaktion resultierte (GxA). Ein T-test ergab signifikant höhere Werte für IFBB in der N_{min} -Aufwandmenge 10 g m^{-2} für *L. perenne* und *T. flavescens* (Abb. 1). Die Grasart zeigte ebenfalls einen Effekt auf die NUE_{min} , folglich wurden die Gärreste von den Grasarten in der Reihenfolge *T. flavescens* > *L. perenne* >> *F. rubra rubra* unterschiedlich effizient genutzt (Abb. 1).

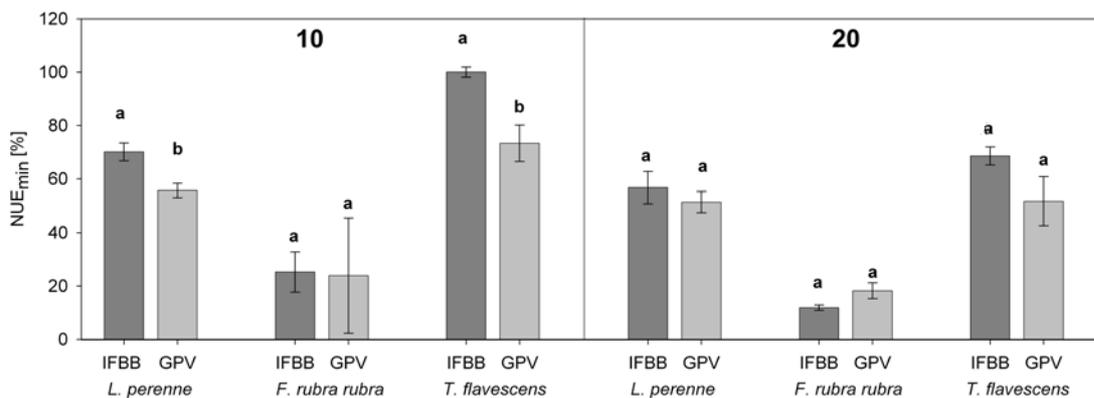


Abb. 1: Mittelwerte der NUE_{min} der erntebaren Biomasse (ab 3cm Höhe) verschiedener Grasarten 105 Tage nach der Applikation der Gärreste IFBB und GPV (10 und $20 \text{ g N}_{min} \text{ m}^{-2}$) und drei Schnitterminen. Fehlerbalken geben die Standardabweichung an, *L. p.*: $n=4$, *F. r. r.*: $n=3$, *T. f.*: $n=3$. Buchstaben kennzeichnen den signifikanten Unterschied zwischen den Gärrestvarianten (T-test, Signifikanzniveau 0.05).

4. Schlussfolgerungen

Eine Düngung mit IFBB-Gärrest resultiert in einer erhöhten Nutzungseffizienz des mineralischen Stickstoffes im Vergleich zum untersuchten Ganzpflanzengärrest, was durch geringere gasförmige Stickstoffverluste aufgrund einer schnelleren Bodeninfiltration und einer leichteren Mineralisation des organischen Materials des IFBB-Gärrestes begründet sein könnte. Die untersuchten Grasarten nutzen den mineralischen Gärreststickstoff unterschiedlich effizient in der Reihenfolge *T. flavescens* > *L. perenne* >> *F. rubra rubra*.

Literatur

- GUNNARSON, A., BENDTSSON, F. und CASPERSEN, S. (2010): Use efficiency of nitrogen from biodigested plant material by ryegrass. *J Plant Nutr Soil Sci* 173, 113–119.
- MERZ, H.U. und TRÖSCH, W. (1989): Vergleichende Untersuchungen zur N-Bilanz unter *Dactylis glomerata* L. nach Gülle-, Biogas-Gülle und Mineraldüngung. 1. Mitteilung: TM-Erträge und N-Entzüge. *Das wirtschaftseigene Futter* 35, 205–225.
- SOWERS, K.E., PAN, W.L., MILLER, B.C. und SMITH, J.L. (1994): Nitrogen use efficiency of split nitrogen applications in soft white winter wheat. *Agron J* 86, 942–948.

Wirkung von Gärresten auf den TM-Ertrag und die N-Aufnahme von *Lolium perenne*

Meike Andruschkewitsch¹, Christine Wachendorf², Michael Wachendorf¹

¹ UNIVERSITÄT KASSEL, FG GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen

² UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET BODENBIOLOGIE UND PFLANZENERNÄHRUNG,
Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen
m.andruschkewitsch@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren ist die anaerobe Vergärung von Pflanzenmaterial und tierischen Exkrementen als eine der attraktivsten erneuerbaren Energieformen einem stetigem Wachstum unterworfen. Im Zuge dessen fallen immer größere Mengen von Gärresten an, die als Dünger in der Landwirtschaft angewendet werden. Das Verständnis der Effekte von Gärresten auf Pflanzenwachstum und N-Aufnahme ist notwendig, um einen effizienten Einsatz der Gärreste in Grünlandsystemen zu gewährleisten. Ziel dieser Untersuchung war es, die Wirkung von zwei sich aufgrund verschiedener Biogasproduktionstechniken unterscheidenden Gärresten zu vergleichen.

2. Material und Methoden

In einem fünfmonatigen, vollrandomisierten Gefäßexperiment mit *Lolium perenne* L. wurde ein durch das IFBB-Verfahren (WACHENDORF et al. 2009) an TM und C-Gehalt abgereicherter Gärrest (IFBB: TM 1.4 [% FM], C 24.8 [% TM], C/N_{org} 9.7 [-]), ein konventioneller Gärrest aus Ganzpflanzenvergärung (GPV: TM 11.3 [% FM], C 34.8 [% TM], C/N_{org} 14.6 [-]) und eine Mineraldüngervariante (MIN, Kalkammonsalpeter) mit einmaliger Gabe und vierfacher Wiederholung appliziert. Die N_{min}-Aufwandmengen betragen 0, 5, 10, 15 und 20 g N_{min} m⁻². Es wurden drei Aufwüchse geerntet (erntebare Biomasse ab 3 cm Höhe), während zusätzlich am letzten Erntetermin die Stoppelbiomasse und die Wurzelbiomasse der Aufwandmengen 0, 10 und 20 g N_{min} m⁻² entnommen wurden. Die Pflanzenfraktionen wurden auf TM-Gehalt und N-Gehalt analysiert. Die N_{min} Menge im Boden wurde nach der letzten Ernte ermittelt. Über eine N-Bilanzierung wurden gasförmige N-Verluste wie folgt kalkuliert:

$$\text{N-Verlust} = (\text{Boden } N_{\text{min}} + \text{N gesamte Pflanze})_{\text{gedüngt}} - ((\text{Boden } N_{\text{min}} + \text{N gesamte Pflanze})_{\text{ungedüngt}} + N_{\text{min-Aufwandmenge}}).$$

Die statistische Auswertung erfolgte über eine zweifaktorielle ANOVA mit N_{min}-Aufwandmenge und Düngervariante als Faktoren. Für einen Mittelwertvergleich der Faktorstufen der Düngervarianten wurden Kontraste herangezogen.

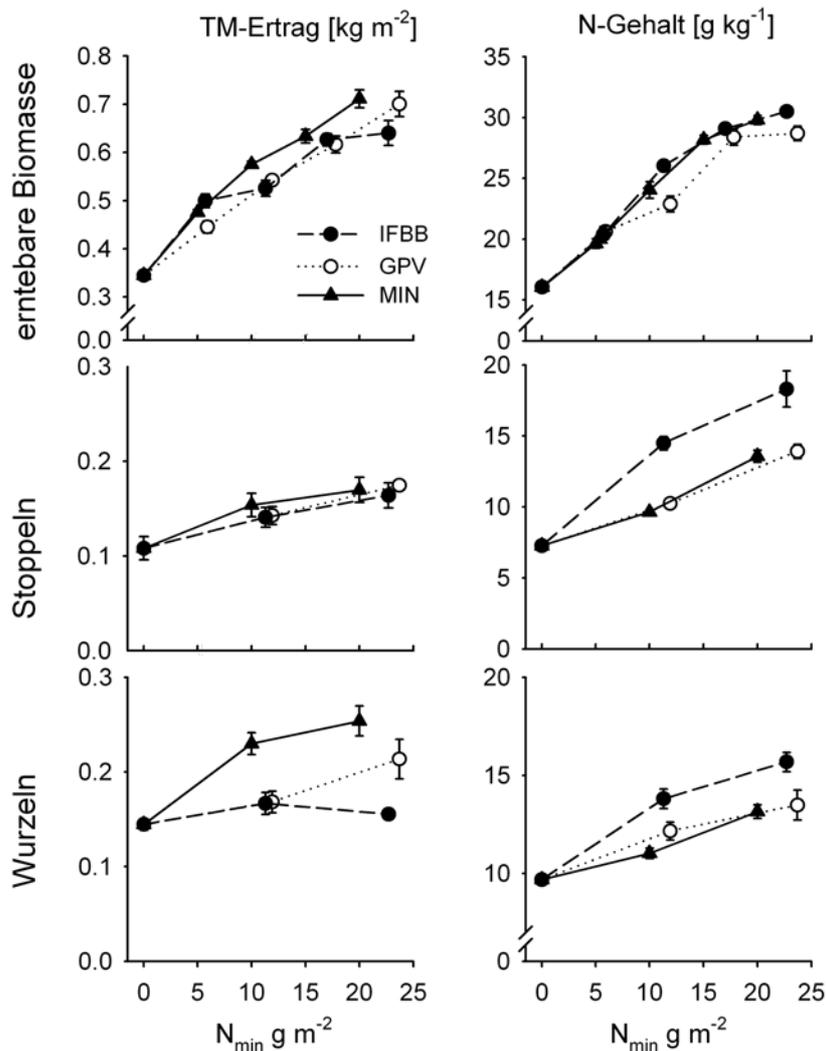


Abb. 1: Mittlere TM-Erträge der Pflanzenfraktionen von *L. perenne* 105 Tage nach der Applikation der Gärreste IFBB und GPV sowie einem mineralischen Dünger (MIN) und drei Schnitterminen mit unterschiedlichen N_{min}-Aufwandmengen. Erntebare Biomasse als Summe der drei Aufwüchse, Stoppel- und Wurzelbiomasse am dritten Schnittermin. Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder, n=4.

3. Ergebnisse und Diskussion

Nach drei Aufwüchsen konnte eine TM-Ertragssteigerung durch Gärrestanwendung festgestellt werden, es konnte jedoch im Mittel kein Unterschied zwischen den Düngervarianten im Ertrag der erntebaren Biomasse und der Stoppelbiomasse festgestellt werden (Abb. 1). Diese Ergebnisse sind konform mit der Studie von GUNNARSON et al. (2010), in welcher kein signifikanter Unterschied in der oberirdischen Biomasse von *L. multiflorum* nach Anwendung von Gärrest und Mineraldünger unter der entsprechenden N_{min}-Aufwandmenge festgestellt werden konnte. Das Wurzelwachstum hingegen zeigte signifikant höhere TM-Erträge nach MIN-Anwendung, während durch die Gärrestanwendung das Wurzelwachstum gehemmt wurde. Ähnliches wurde von SALMINEN et al. (2001) in einer vergleichenden Studie der Wirkung organischer und mineralischer Düngung auf Grünland für das Wurzelwachstum beschrieben. Der N-

Gehalt und N-Ertrag aller Pflanzenfraktionen war für IFBB im Vergleich zu GPV und MIN erhöht. Signifikant war diese Erhöhung für den N-Gehalt in der Stoppelbiomasse (IFBB war um 36% höher gegenüber WCD und um 41% gegenüber MIN), N-Gehalt der Wurzelbiomasse (15% WCD, 21% MIN) und Stoppel N-Ertrag (32% GPV, 32% MIN; Abb. 2). Die N_{\min} Menge im Boden nahm mit steigender Aufwandmenge für alle Düngervarianten zu, wobei die höchsten N_{\min} Mengen im Boden für GPV (2.1 g N_{\min} m^{-2}) bei Aufwandmenge 10 und für IFBB (3.7 g N_{\min} m^{-2}) bei Aufwandmenge 20 g N_{\min} m^{-2} lag.

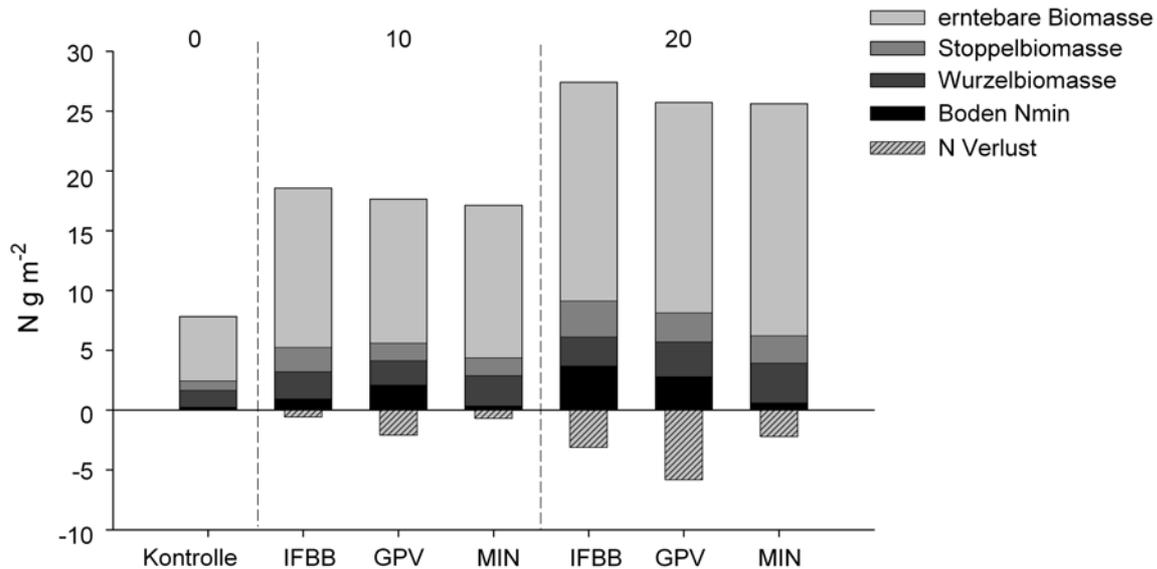


Abb. 2: N-Ertrag von *L. perenne*, Boden N_{\min} nach der letzten Ernte und kalkulierte gasförmige N-Verluste für die N_{\min} Aufwandmengen 0, 10 und 20 g m^{-2} , $n=4$.

Kontraste ergaben für MIN eine signifikant geringere N_{\min} Menge im Boden im Vergleich zu den Gärresten. Die kalkulierten gasförmige N-Verluste nahmen mit steigender Aufwandmenge in der Reihenfolge $MIN < IFBB < GPV$ zu, wobei im Mittel höhere Verluste für GPV (4.0 g $N\ m^{-2}$) im Vergleich zu IFBB (1.8 g $N\ m^{-2}$) und MIN (1.5 g $N\ m^{-2}$) festgestellt wurden, was durch den hohen TM-Gehalt des GPV-Gärrestes und in einer somit schlechteren Infiltrationseigenschaft zu begründen ist.

4. Schlussfolgerungen

Gärreste sind wertvolle Wirtschaftsdünger, die sich hinsichtlich ihrer kurzfristigen N-Wirksamkeit in Abhängigkeit ihrer chemischen Eigenschaften unterscheiden. Es wurde eine höhere N-Aufnahme von *L. perenne* für den IFBB Gärrest festgestellt, wobei das geringe C/N_{org} Verhältnis eine schnelle Mineralisation und eine Nachlieferung an mineralischem N für die Pflanzen gefördert haben kann. Zudem wurden höhere gasförmige N-Verluste für den GPV-Gärrest mit höherem TM-Gehalt festgestellt. Das Wurzelwachstum von *L. perenne* wurde durch Gärrestanwendung im Vergleich zur Minerale Düngervariante gehemmt.

Literatur

- GUNNARSON, A., BENDTSSON, F. und CASPERSEN, S. (2010): Use efficiency of nitrogen from biodigested plant material by ryegrass. *J Plant Nutr Soil Sci* 173, 113–119.
- SALMINEN, E., RINTALA, J., HARKONEN, J., KUITUNEN, M., HOGMANDER, H. und OIKARI, A. (2001): Anaerobically digested poultry slaughterhouse wastes as fertiliser in agriculture. *Bioresour Technol* 78, 81–88.
- WACHENDORF, M., RICHTER, F., FRICKE, T., GRASS, R., und NEFF, R. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of Assessment of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass Forage Sci* 64, 132-143.

Prüfung von Energiepflanzenanbausystemen zur Biogaserzeugung an sieben Standorten in Deutschland

R. Graß, R. Stülpnagel, M. Wachendorf

UNIVERSITÄT KASSEL, FG GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
Steinstraße 19, 37213 Witzhausen; mail: grass@wiz.uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Der Anbau von Pflanzen zur energetischen Verwertung in Biogasanlagen nimmt seit Jahren einhergehend mit dem Ausbau der Biogaserzeugung zu. Damit steigt der Anteil der Bioenergie am Gesamtbeitrag der erneuerbaren Energien und leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Allerdings muss dabei für eine insgesamt umweltfreundliche Energieerzeugung nicht nur der positiv umweltwirkende Beitrag des erneuerbaren Energieträgers, sondern auch dessen Produktion beachtet werden. Derzeit dominiert beim Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen der Mais mit einem Anbauumfang von ca. 700.000 ha in 2011, was einem Gesamtanteil von ca. 80 Prozent entspricht. In herkömmlichen Anbausystemen sind mit dem Maisanbau häufig Umweltgefährdungen und Anbauprobleme verbunden, besonders Bodenerosion und Nährstoffauswaschung. Diese könnten sich bei weiter zunehmendem Maisanbau ebenso wie Probleme zunehmender Schädlinge und Krankheiten verstärken. Ferner könnte der prognostizierte Klimawandel mit der damit verbundenen Zunahme von Starkregenereignissen das Problem der Bodenerosion verstärken. Die prognostizierte Zunahme von intensiven Trockenheitsphasen könnte wiederum zu Ertragseinbußen führen. In den letzten Jahren ist in der landwirtschaftlichen Praxis bereits ein vermehrtes Auftreten dieser Ereignisse zu beobachten. Diese Entwicklungen wirken sich sowohl ökologisch als auch ökonomisch um so stärker aus, wenn sich auf den Anbau einer Pflanzenart fixiert wird, wie das beim Energiepflanzenanbau mit dem Mais derzeit der Fall ist. Daher sind innovative Anbausysteme notwendig, die neben der Erhöhung der Artenvielfalt, der Reduzierung von Bodenerosion und Nährstoffausträgen auch die Sicherung von Erträgen in Form von Ertragsstabilität beinhalten.

Ein solches Anbausystem stellt das an der Universität Kassel-Witzenhausen entwickelte Zweikulturnutzungssystem für den Energiepflanzenanbau dar (Graß und Scheffer, 2005), das den Anbau und die Ernte von zwei Kulturen in einem Jahr beinhaltet (Abb. 1). Dabei werden winterharte Pflanzen als Erstkultur im Herbst ausgesät und im Zeitraum Ende Mai/Anfang Juni geerntet. Direkt im Anschluss wird nach reduzierter Bodenbearbeitung (Mulch- oder Direktsaat) eine Sommerung als Zweitkultur gesät. In diesem Anbausystem sind nahezu alle anbauwürdigen Kulturpflanzen nutzbar und können sowohl im Rein- als auch im Misanbau angebaut werden.

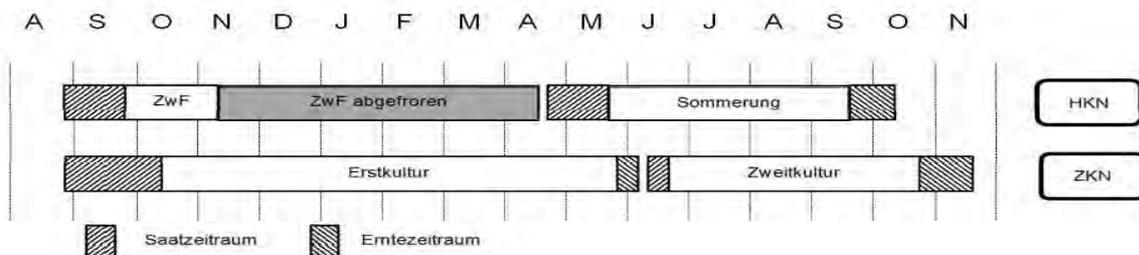


Abb.1: Vergleichende Skizzierung von Hauptkulturnutzungs- (HKN) und Zweikulturnutzungssystemen (ZKN); ZwF=Zwischenfruchtanbau.

Dabei sind aber zwischen den verschiedenen Pflanzenarten unterschiedliche Ertragspotenziale zu erwarten.

Bekanntermaßen ist die Eignung von Anbausystemen standortabhängig, da Faktoren wie Niederschlagsmenge, Vegetationsdauer, Bodenqualität, Einstrahlungsaspekte usw. einen großen Einfluss auf Pflanzenwachstum und Ertrag haben. Daher wurden über einen Zeitraum von drei Jahren an sieben Standorten über Deutschland verteilt verschiedene Varianten von Zweikulturnutzungssystemen vergleichend mit herkömmlichen Hauptkultursystemen untersucht und hinsichtlich ihrer Biomasseerträge, der Trockenmassegehalte und der Ertragsstabilität untersucht.

2. Material und Methoden

An sieben Standorten in Deutschland (1. Dornburg-Thüringen, 2. Gülzow-Mecklenburg-Vorpommern, 3. Haus Düsse-Nordrhein-Westfalen, 4. Rauischholzhausen-Hessen, 5. Straubing-Bayern, 6. Werlte-Niedersachsen, 7. Witzenhausen-Hessen) wurden in den Erntejahren 2006-2008 drei Hauptkultur- und 12 unterschiedliche Zweikulturnutzungssysteme untersucht (Tab. 1).

Tab. 1: Variantenübersicht von geprüften Haupt- und Zweikulturnutzungssystemen

Variante	Sorte
Hauptkulturanbau	
Mais (nach Senf)	<i>(Setoria) Atletico</i>
Sonnenblume (nach Senf)	<i>(Setoria) Methasol</i>
Roggen (Teigreife, Energie) (mit folgendem Senf)	<i>Balistic (Setoria)</i>
Zweikulturnutzungssysteme	
Rübsen/Mais	<i>Lenox/Atletico</i>
Rübsen/Hirse	<i>Lenox/Rona1</i>
Rübsen/Sonnenblume	<i>Lenox/Methasol</i>
Rübsen/Mais-Sonnenblume	<i>Lenox/Atletico-Methasol</i>
Roggen/Mais	<i>Vitallo/Atletico</i>
Roggen/Hirse	<i>Vitallo/Rona1</i>
Roggen/Sonnenblume	<i>Vitallo/Methasol</i>
Roggen/Mais-Sonnenblume	<i>Vitallo/Atletico-Methasol</i>
Roggen-Wintererbse/Mais	<i>Vitallo-EFB33/Atletico</i>
Roggen-Wintererbse/Hirse	<i>Vitallo-EFB33/Rona1</i>
Roggen-Wintererbse/Sonnenblume	<i>Vitallo-EFB33/Methasol</i>
Roggen-Wintererbse/Mais-Sonnenblume	<i>Vitallo-EFB33/Atletico-Methasol</i>

Der Versuch wurde mit zwei Wiederholungen über einem Zeitraum von drei Jahren (2006-2008) in einem split-plot Design angelegt, mit den Erstkulturen bzw. der Zwischenfrucht als Großteilstückfaktor und den Zweit- bzw. Hauptkulturen als Kleinteilstückfaktor.

Die Düngung erfolgte gemäß Werten durchschnittlicher Pflanzenentzüge und der ortsüblich empfohlenen Menge der landwirtschaftlichen Beratung. Bei den Varianten mit Wintererbse wurde für das Gemenge ein durchschnittlicher Abschlag von 50 kg N ha⁻¹ und bei den auf das Gemenge folgenden Zweitkulturen von 25 kg ha⁻¹ vorgenommen. Die Hauptkultur Roggen wurde ebenso wie die Erstkulturen Rübsen, Rog-

gen und Roggen-Wintererbsen-Gemenge nach Pflug und Saatbettbereitung im Zeitraum Mitte-Ende September gesät. Die Ernte wurde zum Ende der Teigreife Anfang bis Mitte Juli durchgeführt. Die Hauptkulturen Mais und Sonnenblumen wurden nach dem abgefrorenen Senf nach intensiver Bodenbearbeitung (2-3 x Grubber und 1 x Kreiselegge) Ende April gesät. Die Zweitkulturen wurden im Zeitraum Ende Mai bis Mitte Juni nach der Ernte der Erstkulturen gesät. Dazu wurde der Boden einmal mit der Scheiben- und einmal mit der Kreiselegge bearbeitet. Die Hauptkulturen Mais und Sonnenblumen sowie die Zweitkulturen wurden je nach Abreifeverhalten möglichst im Stadium der Teigreife geerntet, welche bei den Hauptkulturen durchschnittlich Ende September erreicht war. Bei den Zweitkulturen wurde dieses Stadium Mitte Oktober erreicht, wobei es nicht bei allen Varianten jedes Jahr erreicht werden konnte.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 2 sind die Trockenmasseerträge verschiedener Energiepflanzenanbausysteme an sieben Standorten in Deutschland dargestellt. An allen Standorten wurden die jeweils höchsten TM-Erträge bei den Anbausystemen erzielt, in denen Mais angebaut wurde. Nur in Dornburg lag im Hauptkulturanbau der Ertrag des Energieroggens (i.d. Teigreife geerntet) höher. An fast allen Standorten lag der Gesamtjahresertrag der Zweikulturnutzungssysteme mit Mais höher als der Maisertrag im Hauptkulturanbau, was aber nur am Standort Gülzow statistisch abgesichert werden konnte. Am Standort Straubing erzielten Mais im Hauptfruchtanbau und der Mais als Zweitkultur nach der Erstkultur Winterroggen mit Abstand die höchsten TM-Erträge. Die anderen Sommerungen Sonnenblume, Hirse und Mais-Sonnenblume-Gemenge verzeichneten in den Zweikulturnutzungssystemen z.T. deutlich niedrigere Erträge als der Mais. Bei den Erstkulturen waren die Erträge von Roggen und Roggen/Erbsen-Gemenge, die beide auf ungefähr gleichem Niveau lagen deutlich höher als von Rübsen. Der Einfluss der angebauten Pflanzenart auf den Gesamtertrag wurde übereinstimmend mit Ergebnissen von Schittenhelm et al. 2011 deutlich. Ferner kommt dem Standort und den dort herrschenden Umweltbedingungen eine signifikante Bedeutung bei der Ertragsbildung zu. Dabei ist der Anteil der Erstkulturen am Gesamtertrag an den eher benachteiligten Standorten deutlich höher als an den Gunststandorten, wo die Sommerkulturen höhere Gesamtertragsanteile aufweisen. Insgesamt zeigten die Zweikulturnutzungssysteme an allen Standorten eine höhere Ertragsstabilität als die Hauptkultursysteme (nicht dargestellt). Dieser Faktor gewinnt angesichts der Zunahme von Wetterextremen infolge des Klimawandels zunehmend an Bedeutung.

Posterbeiträge: Sektion Energetische Nutzung

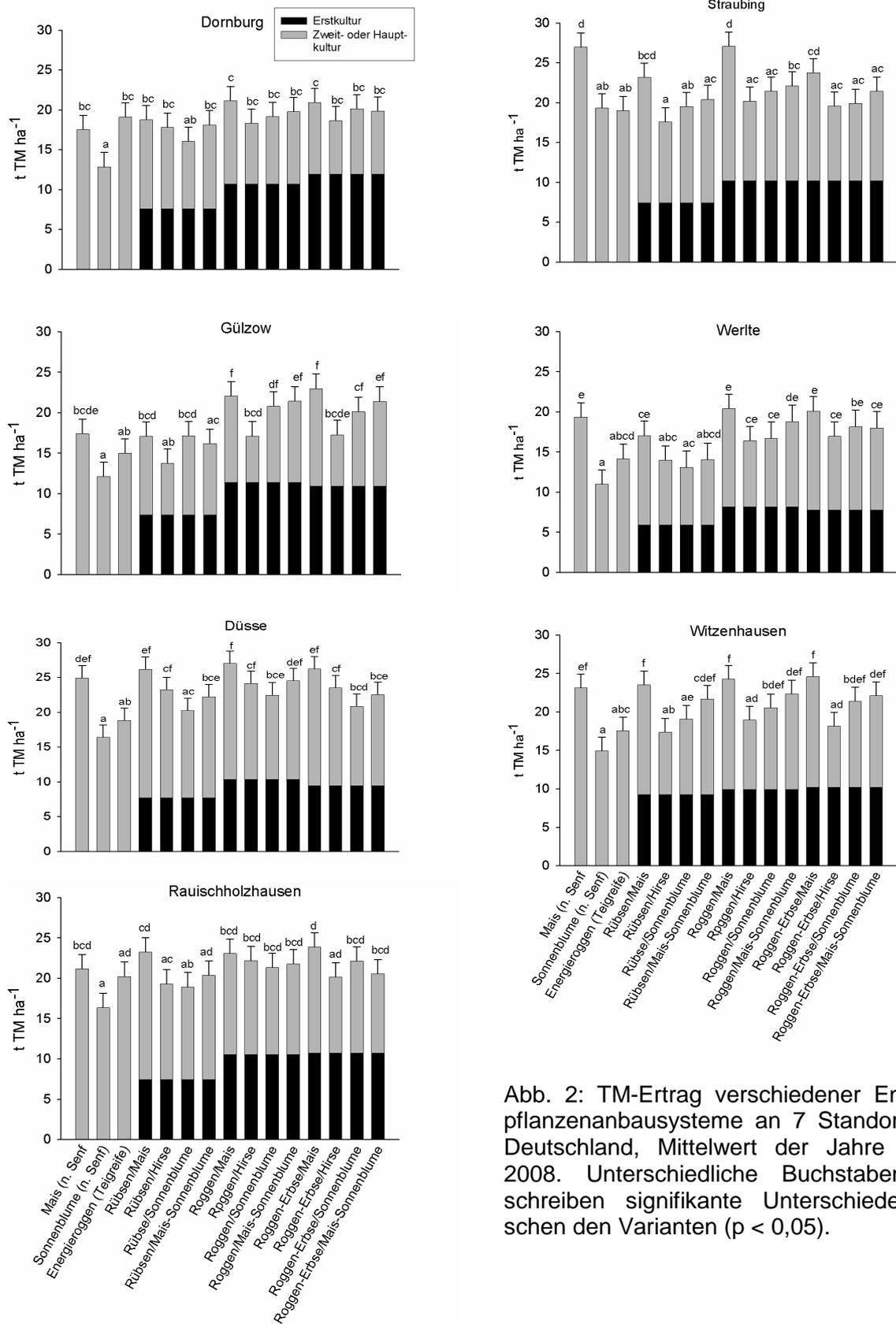


Abb. 2: TM-Ertrag verschiedener Energiepflanzenanbausysteme an 7 Standorten in Deutschland, Mittelwert der Jahre 2006-2008. Unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ($p < 0,05$).

Die Trockenmassegehalte (nicht dargestellt) von Rübsen waren mit Werten zwischen 15 und maximal 25 % deutlich niedriger als bei den anderen Erstkulturen, die TM-Gehalte zwischen 28,5 und 36,7 % erreichten. Nur am Standort Rauschholzhausen lagen die TM-Gehalte zwischen 24 und 25 % auf einem niedrigeren Niveau. Bei den Zweitkulturen wurden die niedrigsten TM-Gehalte bei Sonnenblume und der Mischung Mais/Sonnenblume mit Werten zwischen 14,4 und 22,4 % erzielt. Die TM-Gehalte von Mais und Sorghum als Zweitkulturen lagen über alle Standorte hinweg zwischen 20,8 (Standort Rauschholzhausen) und 28,8 % (Standort Düsse). Bei den Hauptkulturen wurde mit dem Energieroggen der höchste TM-Gehalt aller Varianten mit Werten zwischen 35,5 (Witzenhausen) und 44,1 % (Werlte) erzielt. Der Mais erreichte mit Ausnahme vom Standort Rauschholzhausen (23,8 %) an allen Standorten TM-Gehalte zwischen 27 und 35 %, während bei der Sonnenblume mit 16-24,9 % deutlich niedrigere Werte zu verzeichnen waren. Die für eine gute Silierung angestrebten TM-Gehalte zwischen 27 und 36 % wurden v.a. von Mais und Roggen als Hauptkulturen, den Erstkulturen Roggen und Roggen/Erbsen-Gemenge sowie an einigen Standorten mit Mais und Hirse als Zweitkulturen erreicht. Besonders bei den Zweitkulturen ist die verkürzte zur Verfügung stehende Vegetationszeit oft nicht ausreichend, um die angestrebten TM-Gehalte zu erreichen. Dabei erfolgte an vielen Standorten die Aussaat der Zweitkulturen erst Mitte Juni oder z.T. noch später, was auch früheren Untersuchungen zufolge (Graß, 2003) zu spät ist. Dabei kommt der photoperiodischen Sensibilität der Pflanzen eine besondere Bedeutung zu, die bei der durchgeführten Spätsaat noch mehr zum Tragen kommt, bisher aber zu wenig erforscht ist.

4. Schlussfolgerungen

Zweikulturnutzungssysteme stellen eine ertragreiche und umweltgerechte Alternative zum derzeit vorherrschenden Maisanbau dar. Dabei kommt der standortangepassten Arten- und Sortenwahl eine besondere Bedeutung zu, um sichere Erträge und ausreichend hohe TM-Gehalte zu erzielen. Hinsichtlich der Auswahl spätsaatverträglicher Sorten für die Zweitkulturen besteht noch weiterer Forschungsbedarf.

Literatur

- GRAß, R. (2003): Direkt- und Spätsaat von Silomais - Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. *Dissertation*. Universität Kassel. Cuvillier-Verlag, Göttingen.
- GRAß, R. & K. SCHEFFER (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft* 9/10, 435-439.
- SCHITTENHELM, S., REUS, D., KRUSE, S. & J. HUFNAGEL (2011): Assessment of productivity and profitability of sole and double-cropping for agricultural biomass production. *Journal für Kulturpflanzen*, 63 (11), 387-395.

Untersuchungen zum Bioenergiepotential auf drei Golfplätzen in Südwestdeutschland

Henle, W. , A. Hanisch, J. Kaniecki, S. Graeff-Hönninger, W. Claupein

UNIVERSITÄT HOHENHEIM, INSTITUT FÜR KULTURPFLANZENWISSENSCHAFTEN,
RASENFACHSTELLE,
70599 Stuttgart

Kontakt: rasen@uni-hohenheim.de

1. Einleitung und Problemstellung

Golfplätze verfügen über eine ausgedehnte Fläche und stehen nicht unmittelbar in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Durch eine energetische Nutzung der unterschiedlichen Aufwüchse kann das ökologische Ansehen von Golfplätzen in der Bevölkerung verbessert werden. Nach Angaben des Deutschen Golf Verbandes DGV (2010) stehen den mehr als 610.000 Golfern etwa 710 Golfplätze zur Verfügung, was einer Gesamtfläche von knapp 50.000 ha entspricht. Auch in den nächsten Jahren kann durch zunehmende Beliebtheit des Sportes und steigenden Spielerzahlen mit einem moderaten Flächenzuwachs von jährlich 1 bis 2 % gerechnet werden. Als Grundlagen der durchgeführten „Vor-Ort-Untersuchungen“ wurde die Arbeit von THUMM et al (2009) herangezogen, wobei die nach generalisierten Kennwerten berechnete Energieausbeute eines standardisierten „Ideal-Golfplatzes“ auf drei Golfplätzen in der Umgebung von Stuttgart anhand der tatsächlichen Flächenverteilung ermittelt wurden.

Entsprechend der Lage und Gesamtfläche sowie der Flächenverteilung fallen unterschiedliche Arten von Biomasse an, die für unterschiedliche energetische Nutzungsvarianten prädestiniert sind:

- **Holznutzung:** Auf den meisten Golfanlagen finden sich Hecken, Gehölz- oder Waldflächen mit unterschiedlichster Zusammensetzung. Das bei Pflegeschnitten oder Fällungen anfallende Material kann der thermischen Energiegewinnung zugeführt werden, wobei die Heizwerte von Scheitholz oder Hackschnitzeln im Wesentlichen von Holzart und Trocknungsgrad abhängen (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2007).
- **Schnittgut extensiver Grünflächen:** Hierrunter fallen vor allem die spielbahnbegrenzenden Hardrough-Flächen mit ein bis drei Schnittnutzungen pro Jahr. Bisher erfolgt die Nutzung als Grünland zur Grundfuttererzeugung für Wiederkäuer oder Pferde. Eine sinnvolle energetische Nutzung kann aufgrund des hohen Rohfaseranteiles und den geringen zu erwartenden Methanerträgen um $0,08 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ nur durch Verbrennung mit allen bekannten Problemen der Heuverbrennung erfolgen (PROCHNOW et al., 2009). Durch höhere Schnittfrequenz und frühere Nutzung kann auch eine Fermentation möglich werden, wobei Arbeits- und Pflegeaufwand der Hardrough-Flächen damit steigen.
- **Schnittgut intensiver Grünflächen:** Im Gegensatz zu den extensiven Grünflächen eignet sich das Schnittgut von Grüns, Abschlägen, Spielbahnen und Semirough-Flächen durch den höheren Wassergehalt des Schnittgutes nicht für eine thermische Verwertung. Bei Grünlandaufwüchsen können bei der Vergärung in Biogasanlagen jedoch Methanerträge bis zu $0,65 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ je nach

Bewirtschaftungs- und Düngeintensität erzielt werden (PROCHNOW et al, 2009). Problematisch wirkt sich der Schnittzeitpunkt aus, da vor allem zum Ende der Vegetationsperiode die Rohprotein- und Rohfettanteile deutlich sinken (WIENFORTH et al, 2009).

2. Material und Methoden

Bezüglich der tatsächlichen Flächenverteilung auf die unterschiedlichen Spielelemente und dem mit Unterstützung der Greenkeeper entsprechenden berechneten Biomasseaufwuchs wurde für drei Golfplätze in der Umgebung von Stuttgart das Bioenergiepotential berechnet und platzspezifische Verwertungsmöglichkeiten aufgezeigt (Tabellen 1, 2 und 3). Dabei wurde das Schnittgut von Grüns, Spielbahnen und Playable Rough der Verwertung in Biogasanlagen zugeführt, das Schnittgut von Hardrough und Holzabfälle von Gehölzplegemaßnahmen der Verbrennung zugeordnet.

Tabelle 1: Klimatische und geographische Kenndaten der untersuchten Golfplätze.

	Höhe (m ü.NN)	Niederschlag (mm/Jahr)	Temperatur (Ø °C)	Bodentyp	Bodenart
Haghof	500	1044	9	Braunerde- Pelosol	Lehmiger Ton
Solitude	430	780	9	Schwere Braunerde	Sandiger Lehm
Sonnen- bühl	800	1053	6,7	Pelosol- Braunerde	Kiesiger Lehm

Tabelle 2: Flächengliederung und bisherige Verwendung der anfallenden Biomasseerträge der untersuchten Golfplätze.

Golfplatz Flächen	Haghof		Solitude		Sonnenbühl	
	Größe (ha)	Biomasse- verwendung	Größe (ha)	Biomasse- verwendung	Größe (ha)	Biomasse- verwendung
Grüns	0,7	Schnittgut abgesammelt, kompostiert	1,2	Schnittgut abgesammelt, Biogas	1,2	Schnittgut abgesammelt, Biogas
Vorgrüns	0,4	Mulchmahd	0,8	Schnittgut abgesammelt, Biogas	---	
Abschläge	0,4	Mulchmahd	1	Schnittgut abgesammelt, Biogas	0,6	Schnittgut abgesammelt, Biogas
Fairway	15	Mulchmahd	16	Mulchmahd	22	Mulchmahd
Semirough	12	Mulchmahd, teilweise Abfuhr	32	Mulchmahd	6	Mulchmahd
Rough	15	Mulchmahd		Mulchmahd	8	Mulchmahd
Hardrough	17	Abfuhr: Heu oder Kompost	2	Abfuhr: Heu	22	Abfuhr: Heu, früher für eigene Heu- verbrennung
Gehölze	3	Hackschnitzel	2	Hackschnitzel, Verkauf	0,2	Meist in Privat- besitz, daher nicht im Zugriff des Golfplatzes
Gesamt- fläche	63	18-Loch	55	18-Loch	60	18-Loch

Tabelle 3: Schnitthöhen, Schnitthäufigkeit und generalisiertes Arteninventar der Funktionsflächen.

Funktionsfläche		Schnitthöhe (mm)	Schnitthäufigkeit (pro Woche)	Bestandsbildendes Arteninventar
Grüns		3,2 -4,2	6 -7	A. stolonifera, P. annua
Spielbahnen	Abschläge	10 -12	2 -3	L. perenne, P. pratensis
	Vorgrüns	10 -12	2 -3	L. perenne, P. pratensis
	Fairways	15	2 -3	L. perenne, P. pratensis, F. rubra
Playable Rough	Semirough	35	1	
	Rough	100	1	
Hardrough		variabel, je nach Nutzung	1-2 pro Jahr	Goldhaferwiesen, Kräuter-Rasen-Mischung, Halb-Magerrasen
Gehölze		Pflege meist im 2-Jahres-Rythmus		

3. Ergebnisse und Diskussion

Beim Vergleich der Energieausbeute ist zu beachten, dass bei der Fermentation von Schnittgut der Methanertrag, bei einer thermischen Verwertung die entstehende Wärmeenergie in MJ betrachtet wird. Beide Verfahren lassen sich über eine Umrechnung in Heizöläquivalente vergleichen.

Tabelle 4: Berechnung des Biomasseanfalls, der jährlichen Energieausbeute und des Heizöläquivalentes der drei untersuchten Golfplätze aufgrund der Flächenaufteilung und nach Verwertungsmethode auf Basis der Daten nach THUMM et al (2009).

	Energetische Nutzung	Funktionsfläche	Biomasse		ΣBiomasse [t/Jahr]	angenommene Energieausbeute	gesamte Energieausbeute	Heizöläquivalent [l/kg TM]	Heizöläquivalent [l/Jahr]
			[t/ha*Jahr]	tatsächliche Biomasse [t/Jahr]					
Haghof	Biogas	Grüns	4	2,8	200	0,38 m³ CH₄/kg TM	76.000 m³ CH₄/kg TM	0,38	76.000
		Spielbahnen	5	60					
		Playable Rough	5	135					
	Verbrennung	Hardrough	6	102	107	18 MJ/kg TM	1.926.000 MJ/kg TM	0,5	53.500
Gehölze		2,5	5						
Solitude	Biogas	Grüns	4	4,8	260	0,38 m³ CH₄/kg TM	98.800 m³ CH₄/kg TM	0,38	98.800
		Spielbahnen	5	89					
		Playable Rough	5	165					
	Verbrennung	Hardrough	6	12	17	18 MJ/kg TM	306.000 MJ/ kg TM	0,5	8.500
Gehölze		2,5	5						
Sonnenbühl	Biogas	Grüns	4	4,8	188	0,38 m³ CH₄/kg TM	71.440 m³ CH₄/kg TM	0,38	71.440
		Spielbahnen	5	113					
		Playable Rough	5	70					
	Verbrennung	Hardrough	6	132	132	18 MJ/kg TM	2.376.000 MJ/ kg TM	0,5	66.000
Gehölze		2,5	0						

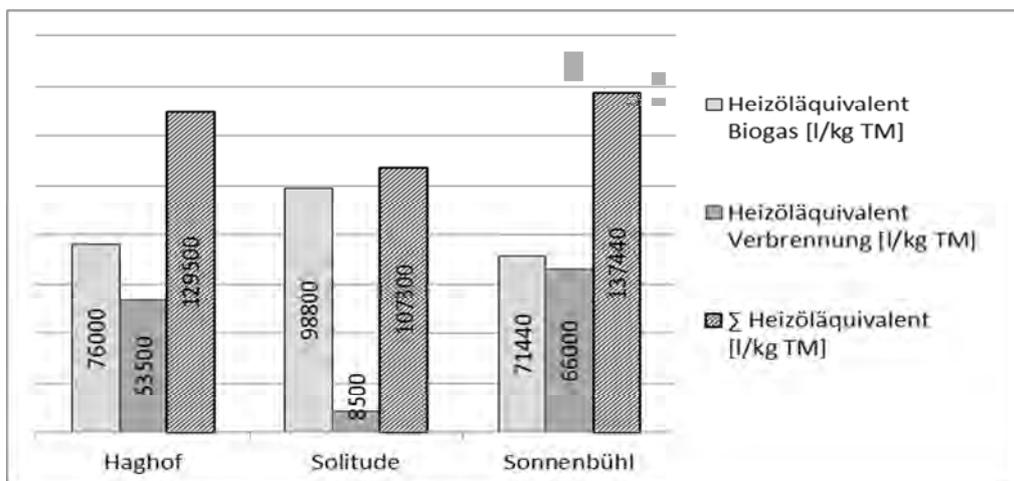


Abbildung 1: Vergleich der Heizöläquivalente bei der Nutzung Fermentation Biogas, Verbrennung und Gesamtsumme der Heizöläquivalente der drei Golfplätze.

Beim Vergleich der Biomasseerträge und der jeweiligen Verwertungsmöglichkeit (Abbildung 1) zeigen sich bei den drei untersuchten Golfplätzen durch die variierende Flächenverteilung deutliche Unterschiede. Bei den bisher üblichen Nutzungen sind vor allem die Größen der Hardrough-Flächen entscheidend. Beim Golfplatz Solitude sind durch die geringe Größe dieser Flächen, trotz etwa 5 t jährlich anfallendem Gehölzschnittes, nur geringe Potenziale bei einer thermischen Verwendung vorhanden. Durch die hohen Hardrough-Anteile beim Golfplatz Sonnenbühl werden bei den drei untersuchten Golfplätzen die höchsten Energiepotentiale bei einer thermischen Verwertung des Schnittgutes erzielt, auch wenn Gehölzflächen auf diesem Platz weitgehend fehlen, da sie in Privatbesitz sind und nicht vom Golfplatz genutzt werden können. Diesem Umstand wurde Rechnung getragen und zwischen 2003 und 2010 war auf dem Gelände eine REKA-Heuverbrennungsanlage mit Nennleistung 30 kW installiert. Jährlich wurden etwa 85 t Heu verbrannt und damit der gesamte Wärmebedarf des Golfplatzes abgedeckt. Abzüglich der Kosten für die Heugewinnung wurden etwa 7.500 € Heizölkosten jährlich eingespart (DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDESPFLEGE, o.J.). Aus betrieblichen Gründen ist die Anlage nicht mehr im Einsatz. Der Golfplatz Haghof nimmt mit seiner Flächenaufteilung eine Mittelstellung ein. Playable Rough (Fermentation) und Hardrough (Verbrennung) bringen durch ihre Flächenanteile die größten Biomasseerträge. Zusätzlich angehoben wird das gesamte Bioenergiepotential durch die rund 60 t jährlich anfallendes Schnittgut der Spielbahnen das der Fermentation in Biogasanlagen zugeführt werden könnte. Nach Angaben des Head-Greenkeepers besteht am Rande des Golfplatzes die Möglichkeit etwa 4 ha in Gehölzflächen mit Kurzumtriebs-Pappeln umzuwandeln und so das Potential der thermischen Bioenergieerzeugung zu erhöhen. Zwischenzeitlich werden wöchentlich 10 m³ Grünschnitt von Hardroughflächen an eine Biogasanlage geliefert.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde angenommen, dass das gesamte Schnittgut, auch von den Spielbahnbereichen aufgesammelt wird. Bei den drei untersuchten Golfplätzen verbleibt bisher das Schnittgut als Mulch auf den Spielbahnen. Fraglich ist, ob der Mehreinsatz an Energie, Arbeit und Technik und folglich höheren Kosten für das Aufsammeln in Relation zu den Energiepotentialen bei der Fermentation steht. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass das auf der Fläche verbleibende Schnittgut zu einer Nährstoffrückführung beiträgt und somit die mineralische Düngemittelintensität verringert. Ein Mehraufwand bei der Düngung muss also ebenfalls berücksichtigt werden.

4. Schlussfolgerung

Grundsätzlich kann bei normalem Sportbetrieb auf Golfplätzen zusätzlich auch Biomasse für energetische Zwecke gewonnen werden. Bisher wurden diese Potentiale nur selten genutzt, da zusätzliche Arbeits- und Maschinenkosten nicht in der entsprechenden Relation standen. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass die Größe der Hardroughflächen das entscheidende Merkmal bei energetischer Betrachtung ist.

Die Nutzung des gesamten Biomassepotentials von Golfplätzen ist mit erheblichen Investitionskosten in unterschiedlichen Bereichen verbunden. Soll auf größeren Bereichen der Spielbahnen das Schnittgut abgesammelt werden, werden mehr Personal und auch spezielle Sammelmaschinen benötigt. Nach Angaben der Head-Greenkeeper ist diese zusätzliche Arbeit nicht durch das bestehende Team zu be-

werkstelligen. Die Standard-Mäher für die Spielbahnen sind in der Regel nicht für das Aufsammeln des Schnittgutes ausgerüstet, bei den vorhandenen Mähern ist ein Aufsammeln oftmals gar nicht möglich. So müssen auch hier zusätzlich Kosten für neue Mäher bzw. Sammelmaschinen in eine Kalkulation einbezogen werden. Nicht zuletzt kommen die Kosten für eine Biogas- oder Heuverbrennungsanlage.

Bei entsprechender Größe von Gehölz- und Hardroughflächen kann eine Heufeuerungsanlage eine Alternative darstellen. Der bauliche Flächenbedarf zum Betrieb einer solchen Anlage muss beachtet werden, wobei nicht die Feuerungsanlage, sondern vielmehr die notwendigen Lagerflächen für das Feuergut ins Gewicht fallen. Eine betriebseigene Biogasanlage kann allein mit dem auf dem Golfplatz anfallenden Schnittgut nicht betrieben werden. Für gärfähiges Material bieten sich hier Kooperationen mit bereits bestehenden Biogasanlagen in der näheren Umgebung des Golfplatzes an.

Ein interessanter Aspekt könnte bei der Neuanlage oder Umgestaltung eines Golfplatzes sein, für Begrenzungsflächen oder auch das Hardrough schon bei der Planung ein Bioenergiekonzept zu erstellen. Heckenreihen oder Waldschonungen könnten als Kurzumtriebs-Holzplantagen geplant werden. Im Hardrough könnten Pflanzenbestände bereits nach ihrem Energiepotential zusammengestellt werden. Vor allem für die thermische Nutzung könnte so ein geregelter Biomasseanfall mit gleichbleibender Qualität erzeugt werden.

Literatur

- DEUTSCHER GOLF VERBAND – DGV (2010): Golfer, DGV-Mitglieder und Golfplätze in Deutschland, Statistik Deutscher Golf Verband e.V. 31.12.2010.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR LANDESPFLEGE (o.J.): Heuverbrennung Golfplatz Reutlingen Sonnenbühl, [<http://www.lpv.de/index.php?id=451>], 04.11.2011.
 - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2007): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, 2. Auflage.
 - PROCHNOW, A., HEIERMANN, M., IDLER, C., LINKE, B., MÄHNERT, P. und PLÖCHEL, M. (2007): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim.
 - THUMM, U., THONN, B., HENLE, W., SCHNEIDER, H. und CLAUPEIN, W., (2009): Energetische Verwertung des Schnittgutes von Golfanlagen, EJTS 4/2009, S. 133-136.
 - WIENFORTH, B., HERRMANN, A., SIELING, K., OHL, S., HARTUNG, E., TAUBE, F. und KAGE, H. (2009): Biogas vom Grünland – Methanerträge und kurzfristige N-Wirksamkeit von Gärresten, Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 10, S. 121-124.

Chemische und botanische Determinanten der Mineralstoffgehalte in Brennstoffen von extensiv genutztem Grünland in Europa

F. Hensgen¹, L. Bühle¹, I. Donnison², K. Heinsoo³, M. Wachendorf¹.

¹ UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,

Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, DE, hensgen@uni-kassel.de

² INSTITUTE OF BIOLOGICAL, ENVIRONMENTAL AND RURAL SCIENCES, ABERYSTWYTH, Gogerddan, Aberystwyth, SY23 3EB, UK

³ ESTONIAN UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES, Riia 181, Tartu 51014, EE

1. Einleitung und Problemstellung

Extensives Grünland beherbergt eine große Zahl an seltenen Pflanzenarten und ist Habitat für viele Tierarten. Diese Biodiversität ist bedroht durch Intensivierung und Verbrachung (ISSELSTEIN et al., 2005). Der Erhalt des extensiven Grünlands ist eines der Hauptziele der europäischen Naturschutzpolitik. Regelmäßiger später Schnitt ist notwendig um die gegenwärtige Vielfalt zu erhalten, wird aber oftmals aus ökonomischen Gründen nicht durchgeführt (OSTERMANN, 1998). Die Nutzung des Aufwuchses dieser Flächen zur Bioenergieerzeugung würde diese Problematik lösen. Jedoch erschweren die chemischen Eigenschaften des Aufwuchses eine Nutzung mit herkömmlichen Konversionstechniken wie Vergärung oder Verbrennung. Die biologische Vergärung des Materials wird erschwert durch hohe Ligningehalte, die zu langen Verweilzeiten im Fermenter und geringen Biogaserträgen führen (RICHTER et al. 2009). In der Verbrennung führen die erhöhten Gehalte an S, K, Mg, Cl und N zu Problemen durch Korrosion, Emissionen und Ascheverschlackung (OBERNBERGER et al., 2006).

Das von der Universität Kassel entwickelte IFBB (Integrierte Erzeugung von Festbrennstoff und Biogas aus Biomasse) System nutzt diese extensiven Aufwüchse. Dazu werden die Mineralstoffe mittels Maischung und anschließender Abpressung in den Presssaft transferiert, wohingegen der anfallende Presskuchen mineralstoffärmer und damit besser zur Verbrennung geeignet ist (WACHENDORF et al. 2009). Der IFBB Prozess wurde intensivst untersucht (RICHTER et al. 2011 a, b) und die Verbesserung der Brennstoffqualitäten konnte dabei nachgewiesen werden. Diese Studie untersucht die Faktoren, welche die Massenflüsse der Mineralstoffe in den Presssaft und die Konzentrationen der schädlichen Elemente im Presskuchen beeinflussen. Untersucht wurden die Auswirkungen chemischer Parameter, wie die des Fasergehalts der Silage aber auch die Auswirkungen botanischer Parameter, wie der Zusammensetzung der Silage nach unterschiedlichen funktionellen Gruppen.

2. Material und Methoden

Jeweils sechs Untersuchungsflächen im Vogelsberg, Estland und in Wales wurden in dreifacher Wiederholung auf je 100m² untersucht. Die Flächen wurden ausgesucht um möglichst unterschiedliche, extensive Grasland-Vegetationen wiederzuspiegeln. Botanische Parameter wurden auf einer 5m x 5m Teilfläche untersucht. Die Bedeckungsgrade der Arten wurden nach LONDO (1975) aufgenommen, ebenso die Bedeckungsgrade der funktionellen Gruppen Gräser, Kräuter, Leguminosen und Sauer-

gräser. Die Beerntung der Flächen wurde mit einem Balkenmäher in 5 cm Schnitthöhe durchgeführt. Der Zeitpunkt wurde für jede Fläche gesondert festgelegt und variierte zwischen Juni und Oktober. Etwa 20 kg der Biomasse wurde direkt in 60L Polyethylenfässer siliert. Und für 6 Wochen siliert. Ertragsberechnungen wurden auf 5m² durchgeführt. Trockenmasse wurde durch Trocknung der Proben bei 105°C für 48h analysiert. Die Proben wurden mithilfe des mobilen IFBB Prototypen aus dem Prograss Projekt verarbeitet. (Fig. 2). Die Silage wurde 30 Minuten mit 25°C warmen Frischwasser gemischt und anschließend mit einer Schneckenpresse abgepresst (AV, Anhydro Ltd., Kassel, Germany; Steigung 1:6, Perforation 1,5 mm). Proben von Silage und Presskuchen wurden bei 60°C für 24h getrocknet. C, H und N wurden mit dem Vario MAX CHN (Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany) analysiert. Der Gehalt an K, Mg, Ca, Cl, S und P wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelt und die Weender und van Soest Fraktionen nach Standardmethoden und Nahinfrarotspektroskopie. Die Massenflüsse der genannten Elemente in den Presssaft wurden nach folgender Formel berechnet:

$$MF_{X_{PC}} = \frac{M_{PC} * C_{X_{PC}}}{M_{Sil} * C_{X_{Sil}}}$$

$$MF_{X_{PF}} = 1 - MF_{X_{PC}}$$

mit:

$MF_{X_{PC}}$: Relativer Massenfluss eines Elementes X in den Presskuchen

M_{PC} : Gewicht des Presskuchens [kg]

$C_{X_{PC}}$: Konzentration des Elementes X im Presskuchen [g kg⁻¹]

M_{Sil} : Gewicht der Silage [kg]

$C_{X_{Sil}}$: Konzentration des Elementes X in der Silage [g kg⁻¹]

$MF_{X_{PF}}$: Relativer Massenfluss eines Elementes X in den Presssaft

Statistische Auswertungen wurden vorgenommen unter Zuhilfenahme der Software R (R Development Core Team, 2011). Um zu untersuchen ob sich die Gehalte an Elementen in Presskuchen und Silage und innerhalb der untersuchten Regionen signifikant unterscheiden wurde eine ANOVA durchgeführt. Der Effekt der chemischen und botanischen Zusammensetzung der Silage auf die Brennstoffqualität wurde mittels multipler linearer Regression untersucht. Vorausgehende Studien haben gezeigt, dass Neutrale Detergentien Faser NDF und Trockensubstanzgehalt der Silage maßgeblichen Einfluss auf die Mineralstoffgehalte des Presskuchens haben (Richter et al., 2011a, b). Daher wurden diese Faktoren auch in dieser Studie in die statistische Modellierung miteinbezogen. Andere Faktoren wie Lignin, Rohfett und Rohprotein erwiesen sich als nicht aussagekräftig. Die Daten der botanischen Zusammensetzung wurden ebenfalls in die Berechnung einbezogen. Aufgrund des Vorliegens von Multikollinearität wurden drei der vier funktionellen Gruppen in das Modell einbezogen (Gras, Kräuter und Leguminosenanteil) und der NDF-Gehalt als chemische Determinante. Quadratische Zusammenhänge und zweifach Interaktionen wurden ebenfalls berücksichtigt. Ein Faktor verblieb im jeweiligen Modell, wenn seine Signifikanz $p <$

0.05 war. Die Modellentwicklung folgte den Prinzipien der Hierarchie und Marginalität (Nelder und Lane, 1995). Der Test für Homogene Varianzen wurde graphisch durchgeführt und die Normalverteilung mit dem Shapiro Wilk Test überprüft. Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben waren wurden die Daten log-transformiert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Massenfluss der Trockenmasse in den Presssaft betrug 20%. Die Massenflüsse der schädlichen Elemente waren deutlich höher, daher wurden die Gehalte dieser Elemente im Presskuchen, im Verhältnis zur Ausgangsbiomasse, reduziert (Abb.1). Die höchste Reduktion erfuhr hierbei der Cl und K Gehalt, da diese beiden Elemente in wasserlöslicher Form vorliegen. Niedrige Massenflüsse wurden hingegen für N und Ca beobachtet. Die Massenflüsse für S lagen im mittleren Bereich. Die Konzentrationen an schädlichen Mineralstoffen im Presskuchen waren deutlich geringer als in der Silage. Mit der Ausnahme des Stickstoffs konnten für die Verbrennung unbedenkliche Werte erreicht werden. Die erhöhten N-Werte bedingen eine angepasste Brennstoffführung in der Verbrennungskammer um NO_x Emissionen zu verhindern.

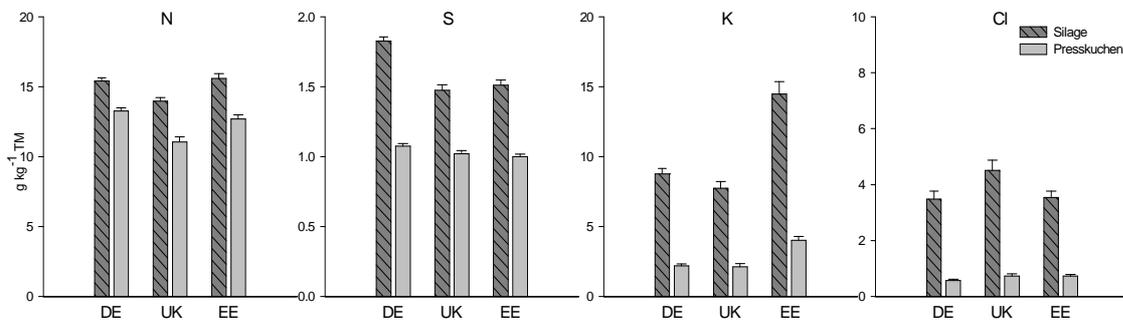


Abb. 1: Konzentration von N, S, K, Cl in Silage und Presskuchen ($\text{g kg}^{-1} \text{TM}^{-1}$) von Standorten in Deutschland (DE), Wales (UK) und Estland (EE), Fehlerbalken repräsentieren den Standardfehler des Mittelwertes

Die Konzentrationen von Asche, N und den Mineralstoffen im Presskuchen ließen sich mithilfe des NDF-Gehaltes der Silage und botanischen Parametern vorhersagen (Abb.2). Die Bestimmtheitsmaße der Vorhersagen für TM ($R^2: 0.63$), Asche ($R^2: 0.70$), N ($R^2: 0.73$), K ($R^2: 0.64$), Mg ($R^2: 0.79$) und Ca ($R^2: 0.74$) waren aussagekräftig, wohingegen Cl ($R^2: 0.56$) und S ($R^2: 0.45$) nur mittelmäßig und P ($R^2: 0.34$) sehr schlecht zu modellieren waren. Abb.2 a) und b) zeigt, dass sich der Ascheanteil im Presskuchen reduziert, wenn grasreiches und leguminosenarmes Ausgangsmaterial mit einem hohen Fasergehalt verwendet wird. Für den Stickstoff zeigte sich, dass der Fasergehalt der Silage den stärksten Einfluss auf die N-Gehalte im Presskuchen hat. Je höher der Fasergehalt der Silage desto geringer sind die N-Gehalte im Presskuchen (Abb. 2. c)). Dies gilt insbesondere bei geringen Leguminosenanteilen. Auch der Magnesiumgehalt im Presskuchen war umso geringer, je niedriger der Grasanteil der Silage war und umso höher je höher der Leguminosenanteil war. (Abb.2 d) und e)). Der Krautanteil zeigte dieselbe Tendenz wie der Grasanteil und auch ein höherer Faseranteil führte zu niedrigeren Mg-Gehalten im Presskuchen (Abb. 2 f)).

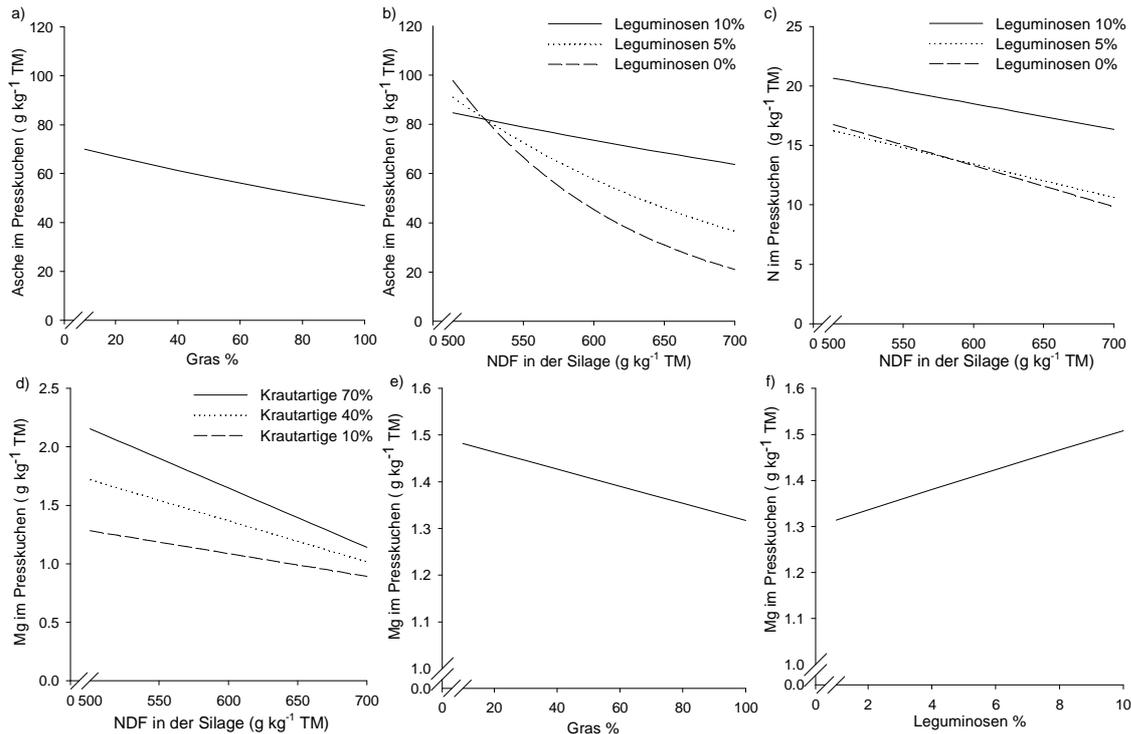


Abb. 2: Modellierung der Konzentrationen im Presskuchen von Asche (a,b), N (c) und Mg (d,e,f) Bedeckungsgrade in %, Konzentrationen in g kg⁻¹ TM.

4. Schlussfolgerungen

Das IFBB Verfahren führt zu einer deutlichen Verbesserung der chemischen Zusammensetzung des extensiven Grünlandmaterials für die energetische Nutzung durch Verbrennung. Insbesondere der Chlor- und Kalium-Gehalt wird reduziert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass möglichst älteres, faserreiches Material bevorzugt zur Brennstoffherstellung eingesetzt werden sollte und bezüglich der botanischen Zusammensetzung möglichst grasreiches Material bevorzugt werden sollte.

Literatur

- ISSELSTEIN, J., JEANGROS, B. & PAVLU, V. (2005): Agronomic aspects of biodiversity targeted management of temperate grasslands in Europe- a review. *Agron. Res.* 3, 139-151.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten (Decimal scale for plant sociological survey of permanent squares), in: Tüxen, R., (ed.), *Sukzessionsforschung (succession research)*, Ber. int. Symp. IVV., Vaduz, 1973, pp. 613-617.
- NELDER, J.A., und LANE, P.W. (1995): The computer analysis of factorial experiments. In memoriam: Frank Yates. *Amer. Stat.* 49, 382-385.
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T. & BÄRNTHALER, G. (2006): Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass Bioenergy* 30, 973–982.
- OSTERMANN, O.P. (1998): The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. *J. Appl. Ecol.* 35, 968-973.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Posterbeiträge: Sektion Energetische Nutzung

RICHTER, F., GRAß, R., FRICKE, T., ZERR, W. & WACHENDORF, M. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. II. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on anaerobic digestion of press fluids. *Grass Forage Sci.* 64, 354-363.

RICHTER, F., FRICKE, T. & WACHENDORF, M. (2011 A): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 1. The fate of mineral compounds. *Bioresour. Technol.* 102, 4855-4865.

RICHTER, F., FRICKE, T. & WACHENDORF, M. (2011 B): Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 2. Properties of energy carriers and energy yield. *Bioresour. Technol.* 102, 4866-4875.

WACHENDORF, M., RICHTER, F., FRICKE, T., GRAß, R. & NEFF, R. (2009): Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. I. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds, and nutrient balances. *Grass Forage Sci.* 64, 132-143.

Kann die spezifische Methanausbeute durch Kofermentation pflanzlicher Substrate gesteigert werden?

L. Jahn^{1,2}, S. Ohl², M. Hasler³, A. Techow¹, R. Quakernack⁴, A. Pacholski⁴, E. Hartung², H. Kage⁴, F. Taube¹, A. Herrmann¹

CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL,

¹ INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG; GRÜNLAND U. FUTTERBAU/ÖKOL. LANDBAU

² INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE VERFAHRENSTECHNIK

³ VARIATIONSSTATISTIK

⁴ INSTITUT FÜR PFLANZENBAU U. -ZÜCHTUNG; ACKER- U. PFLANZENBAU
24118 Kiel

1. Einleitung und Problemstellung

Die Produktion von Energiepflanzen, welche sich auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben zu einem wichtigen Betriebszweig entwickelt hat, wird in den meisten Regionen durch Mais dominiert. Potentiell negative Effekte der in den letzten Jahren beobachteten Ausdehnung des Maisanbaus führen zu einer intensiven Diskussion um die Leistungsfähigkeit von Biogasfruchtfolgen. Bekanntermaßen wird der Methanhektarertrag (MHE) im Wesentlichen durch den Trockenmasse-Ertrag determiniert. Darüber hinaus weisen aktuelle Forschungsergebnisse darauf hin, dass aus Maismonofermentation Prozessinstabilität resultieren kann aufgrund eines Mangels von Mikro- und Makronährstoffen bzw. eines Eintrags von Hemmstoffen (BRUNI et al., 2010; DEMIREL and SCHERER, 2011). Der MHE wird bekanntermaßen in starkem Maße durch den TM-Ertrag determiniert. Die Variation des spezifischen Methanertrages (SME) durch Pflanzenart, Entwicklungsstadium oder Nährstoffversorgung trägt in deutlich geringerem Umfang zur Variation des MHE bei, sollte jedoch nicht vernachlässigt werden. Zum Effekt der Kofermentation pflanzlicher Substrate auf die SME liegen jedoch nur in begrenztem Umfang Studien vor. Ziel dieser Untersuchung war es daher, den Kofermentationseffekt durch eine systematische Analyse des SME über Fermentation als Reinsubstanz bzw. in definierten Mischungen zu quantifizieren.

2. Material und Methoden

Proben von Silomais, Weizenganzpflanze sowie Deutschen Weidelgras aus dem ersten bzw. zweiten Aufwuchs wurden einem Feldversuch entnommen, in welchem der Einfluss von Fruchtfolge, N-Düngeform und N-Menge auf die Ertragsleistung und die Umwelteffekte an einem Standort nahe der Nordseeküste Schleswig-Holsteins untersucht wurden. Die Ausgangssubstrate stellen repräsentative Unterproben aus 4 Feldwiederholungen aus optimal mit Stickstoff versorgten Varianten dar, welche im Jahr 2010 zur Siloreife beerntet wurden (Mais, Weizen: Teigreife, Weidelgras 1. Aufwuchs: Ährenschieben). Die Proben wurden bei 58 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, auf 1 mm vermahlen und anaerob vergoren als Reinsubstrate, in binären Mischungen (0-100%) von Mais/1. Aufw. Gras, Mais/2. Aufw. Gras, Mais/Weizen, Weizen/1. Aufw. Gras, sowie in 3-Komponenten-Mischung von Mais/Weizen/1. Aufw. Gras und Mais/Weizen/2. Aufw. Gras. Der spezifische Methanertrag wurde nach dem Hohenheimer Biogas Ertragstest (HBT) mit drei Laborwiederholungen ermittelt nach VDI 4630 (VDI, 2006) sowie HELFRICH and OECHSNER (2003). Hierbei wurden ca. 300 mg Substrat mit 30 ml Inokulum (Klärschlamm) für 28 Tage bei 38 °C inkubiert, wobei das Substrat/Inokulum-Verhältnis maximal 0.5 betrug. In jedem Versuchsansatz

wurden je drei Proben zweier Referenzsubstrate (reiner Klärschlamm, kristalline Cellulose) mitgeführt. Die Gaszusammensetzung wurde mittels eines Advanced Gasmiters (AGM 10, Sensors Europe) bestimmt und auf Normbedingungen korrigiert. Die inhaltstoffliche Zusammensetzung der pflanzlichen Ausgangssubstrate wurde anhand der Gehalte an Asche, Stickstoff, Rohfett, ADF, NDF, wasserlöslichen Kohlenhydraten, Stärke, Enzym-löslicher organischer Substanz (ELOS) und der Energiekonzentration charakterisiert (Tab. 1). Multiple Kontrasttests nach DILBA et al. (2006) wurden durchgeführt zum Vergleich der theoretischen (aus den Methan- ausbeuten der Ausgangssubstrate und den Mischungsverhältnissen berechneten) und der im Versuch ermittelten spezifischen Methanerträge.

Tab. 1: Inhaltsstoffliche Zusammensetzung der untersuchten Substrate (g kg⁻¹ TM).

	Mais	Weizen	Gras, 1. Aufw.	Gras, 2. Aufw.
Trockenmassegehalt	304,4	416,8	238,2	291,7
Asche	44,0	91,0	83,0	120,0
Stickstoff	12,6	15,2	18,6	26,4
Rohfett	21,0	17,0	32,0	31,0
ADF	234,0	308,0	200,0	228,0
NDF	478,0	502,0	450,0	518,0
Wasserlösliche Kohlenhydrate	n.v.	n.v.	186,0	92,0
Stärke	282,0	264,0	n.v.	n.v.
ELOS*	674,0	594,0	752,0	655,0
Energiekonzentration (ME kg ⁻¹ DM)	10,4	9,3	11,3	10,3

* Enzym-lösliche organische Substanz; n.v. nicht verfügbar

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten spezifischen Methanerträge der Reinsubstrate und Mischungen variierten zwischen 341 und 393 l_N kg⁻¹ CH₄ oTM (Tab. 2) und weisen eine gute Übereinstimmung zu publizierten Werten auf. Die anaerobe Vergärung von reinen Mais- und Grasproben resultierte in ähnlichen spezifischen Methanerträgen und Mais/Gras-Mischungen wiesen keine signifikanten Abweichungen zwischen theoretischen und gemessenen Werten auf. Antagonistische bzw. synergistische Effekte der Kofermentation variierten zwischen -9,4 und 4,8% und wurden nur für Mischungen festgestellt, in welchen Weizenganzpflanze als eine Komponente enthalten war. Für zwei von insgesamt 5 Mais/Weizen-Mischungen überstieg der gemessene SME signifikant den theoretischen Wert, welcher sich nach Annahme einer rein additiven Wirkung ergeben würde. Für vier von 10 Mais/Weizen/Gras-Mischungen hingegen konnte ein signifikant antagonistischer Effekt nachgewiesen werden. Der Methangehalt, welcher im Bereich von 55,2 bis 59,5% schwankte, war tendentiell geringer für diejenigen Mischproben, welche eine negative Differenz zwischen theoretischem und gemessenem SME aufwiesen. MUKENGELE et al. (2006) berichteten bis zu 8% höhere SME für binäre Mischungen aus Silagen aus Mais, Klee gras, Futterrüben und Roggenganzpflanze. Eine Studie von AMON et al. (2004) zur Kofermentation verschiedener Silagen und Schweinegülle fand eine Variation der relativen Unterschiede zwischen theoretischen und gemessenen SME von -2,4 bis 48,5%.

Die den beobachteten Effekte zugrunde liegenden Ursachen sind nicht eindeutig. Die binären Mischungen 4 und 5 waren durch eine höhere SME mit steigenden Weizen-

anteilen gekennzeichnet. In Übereinstimmung hierzu wiesen die 3-Komponenten-Mischungen 24 und 25 (geringe Weizen- und Grasanteile) antagonistische Effekte auf. Dies könnten auf den N-Gehalt bzw. das C/N-Verhältnis zurückgeführt werden, welches für eine stabile Vergärung in einem optimalen Bereich liegen soll (BRAUN, 1982). Der Gehalt an Spurenelementen, welche oft als limitierender Faktor der Monofermentation betrachtet wird (DEMIREL and SCHERER, 2011), wird aufgrund der relativ kurzen Inkubationsdauer als Ursache ausgeschlossen. Der bei Mischung 23 beobachtete antagonistische Effekt könnte auf einem zu hohen Proteingehalt und daraus resultierender Ammoniakhemmung beruhen. Dann hätten jedoch ähnliche Effekte bei binären Mais/Gras- und Weizen/Gras-Mischungen auftreten müssen.

Tab. 2: Einfluss variierender Mischungsverhältnisse auf den theoretischen und gemessenen spezifischen Methanertrag ($l_N \text{ kg}^{-1} \text{ CH}_4 \text{ oTM}$); p-Werte nach multiplen Kontrasttests.

Mischung	Sample composition (% of DM)				SME theoret, ($l_N \text{ kg}^{-1}$ oTM)	SME gemess, ($l_N \text{ kg}^{-1}$ oTM)	Relative Differenz (% von theor, Wert)	p
	Mais	Weizen	Gras 1, Aufw,	Gras 2, Aufw,				
	100					384,2		
		100				345,7		
			100			386,6		
				100		372,2		
1	85	15			378,4	377,0	-0,4	0,999
2	75	25			374,5	376,7	0,6	0,996
3	50	50			364,9	362,4	-0,7	0,992
4	25	75			355,3	369,8	4,1	0,050
5	15	85			351,4	368,1	4,8	0,022
6	85		15		384,5	389,5	1,3	0,997
7	75		25		384,8	387,3	0,7	0,998
8	50		50		385,4	379,8	-1,5	0,849
9	25		75		386,0	384,4	-0,4	0,998
10	15		85		386,3	388,9	0,7	0,997
11	75			25	381,2	375,0	-1,6	0,754
12	50			50	378,2	377,9	-0,1	1,000
13	25			75	375,2	384,1	2,4	0,497
14		85	15		351,8	361,9	2,9	0,521
15		75	25		355,9	373,2	4,9	0,164
16		50	50		366,2	358,7	-2,0	0,752
17		25	75		376,4	393,0	4,4	0,195
18		15	85		380,5	375,9	-1,2	0,962
19	10	80	10		353,6	352,0	-0,5	1,000
20	20	60	20		361,6	356,6	-1,4	0,958
21	33	33	33		368,4	361,0	-2,0	0,747
22	20	20	60		378,0	364,3	-3,6	0,137
23	10	10	80		382,3	346,3	-9,4	0,001
24	60	20	20		377,0	362,0	-4,0	0,091
25	80	10	10		380,6	360,2	-5,4	0,047
26	10	10		80	370,7	341,1	-8,0	0,001
27	20	20		60	369,3	355,6	-3,7	0,076
28	33	33		33	363,7	343,3	-5,6	0,004

4. Schlussfolgerungen

Die Kofermentation von Mischungen pflanzlicher Substrate resultierte sowohl in signifikant synergistischen als auch antagonistischen Effekten. Weitergehende Analysen unter Einbeziehung von Fermentationstests mit längerer Inkubationsdauer sind erforderlich, um die den beobachteten Effekten zugrunde liegenden Prozesse näher zu beleuchten.

Literatur

- AMON, T., MACHMÜLLER, A., KRYVORUCHKO, V., MILOVANOVIC, D., HRBEK, R., EDER, M.W., & B. STÜRMEER, (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsprojekt Nr. 1421, Endbericht.
- BRAUN, R. (1982): Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe. Springer, Wien.
- BRUNI, E., JENSEN, A.P., PEDERSEN, E.S. & I. ANGELIDAKI (2010): Anaerobic digestion of maize focusing on variety, harvest time and pretreatment. *Applied Energy* 87, 2212-2217.
- DEMIREL, B. and P. SCHERER (2011): Trace elements requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane. *Biomass and Bioenergy* 35, 992-998.
- DILBA, G., BRETZ, F. & V. GUIARD (2006): Simultaneous confidence sets and confidence intervals for multiple ratios. *Journal of Statistical Planning and Inference* 136, 2640-2658.
- HELFFRICH D. and H. OECHSNER (2003): The Hohenheim Biogas Yield Test. *Landtechnik* 58, 148-149.
- MUKENGELE, M., BRULE, M. & H. OECHSNER (2006): Einfluss der Substratmischung aus Energiepflanzen auf Abbaukinetik und Methanertrag. *Landtechnik* 61, 26-27.
- VDI (2006) VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe – Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Berlin, Beuth Verlag GmbH.

Futterwert und Gasbildungspotential von Brachemischungen

- Ergebnisauszug eines Interreg IVb-Projektes „enercoast“

Dr. agr. Christine Kalzendorf

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, FB GRÜNLAND UND FUTTERBAU
(christine.kalzendorf@lwk-niedersachsen.de)

1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen eines Interreg IVb-Projektes sollten Pflanzenmaterialien geprüft werden, die nicht in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion stehen. Als besondere Zielkulisse wurde der küstennahe Bereich ausgewählt, um speziell für diese Region Potentiale zur Bioenergiegewinnung aufzuzeigen. Vor dem Hintergrund wurden auf einem Seemarschstandort der Landwirtschaftskammer Niedersachsen Versuche mit extensiven und semi-extensiven Pflanzengesellschaften angelegt. Hierbei gehörten u.a. vier Brachemischungen mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung.

2. Material und Methoden

Die in Tabelle 1 aufgeführten Brachemischungen wurden am 09. September 2009 auf einem Seemarschstandort ausgesät, um die Ertragsleistung, den Futterwert und das Biogaspotential für den Zeitraum von 2010 bis 2011 zu untersuchen.

Die Artenzusammensetzung der Brachemischungen geht aus Tabelle 1 hervor. Die Varianten 1 bis 3 können demzufolge als typische Kleegrasmischungen bezeichnet werden. Bei der Brachemischung Nummer 4 handelt es sich um eine mehrjährige Wildackermischung.

Die Brachemischungen wurden in den Nutzungsjahren 2010 und 2011 jeweils zweimal geerntet.

Im Allgemeinen wurde eine späte Nutzung der Bestände angestrebt, denn es sollte der ökologische Zweck des Anbaus bereits erfüllt sein. Die Mahd zum ersten Aufwuchs erfolgte in der einen Versuchsgruppe zum Zeitpunkt des Blühbeginns der Hauptbestandbildner (1. Schnitt, T1). Die zweite Versuchsgruppe wurde erst in einem zeitlichen Abstand von vier Wochen geerntet. In aller Regel war zu diesem Zeitpunkt die Blühphase der Hauptbestandbildner beendet (1. Schnitt, T2).

Bei der Ernte des zweiten Aufwuchses im ersten Versuchsblock war das Ährenschieben für den ersten Mahdtermin abgeschlossen (2. Schnitt, T1). Je nach Wetterlage folgte der Schnitt des zweiten Versuchsblockes drei bis vier Wochen später (2. Schnitt, T2).

Tabelle 1: Zusammensetzung der Brachemischungen im Überblick

Pflanzenarten	Artenanteile in %			
	Brache M1	Brache M2	Brache M3	Brache M4
WD (spät)	60%	90%	25%	14%
Rotschwingel			65%	20%
Weißklee		10%	10%	
WSC	30%			
RKL	7%			10%
Buchweizen				30%
Hafer				10%
Winter-Futterraps (00)				4%
Gelbsenf				3%
Inkarnatklee	3%			
Herbstrüben				2%
Malve				2%
Winterwicken				5%
Saatstärke in kg/ha	15	15	15	20 - 25

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Trockenmasseerträge aller Schnittzeitpunkte für die Erntejahre 2010 und 2011 sind tabellarisch in Tabelle 2 zusammengefasst. Aus den Ertragsergebnissen lassen sich folgende Verallgemeinerungen ableiten:

Zwischen den vier Varianten unterschied sich vor allem das Ertragsniveau des ersten Aufwuchses. Das war für beide Erntetermine zu beobachten.

Die Folgeaufwüchse der vier Brachemischungen waren ertraglich ausgeglichener.

Bei Ernte zum Zeitpunkt der Blüte wurde im Durchschnitt der vier Mischungen zum ersten Aufwuchs (1. Schnitt, T1) eine Ertragsleistung von 89 dt TM/ha erreicht. Der zweite Aufwuchs lag bei 35 dt TM/ha (2. Schnitt, T1)

Mit noch späteren Schnittzeitpunkten nahm das Ertragsniveau sowohl des ersten als auch des zweiten Aufwuchses wieder ab. Dieses wirkte sich zwangsläufig auf den Jahresertrag aus.

Der Jahresertrag der Brachemischungen lag bei dem Schnittregime T1 bei 125 dt TM/ha und bei einer noch späteren Ernte (Versuchsblock „T2“) bei durchschnittlich 107 dt TM/ha.

Nach jedem Erntetermin wurden von den vier Varianten Futterproben entnommen, die zum einen zur Bewertung der Futterqualität dienten und zum anderen für Silierversuche verwendet wurden. Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der vier Varianten je Erntezeitpunkt.

Der Rohfasergehalt zum ersten Aufwuchs nahm Werte zwischen 30 bis 36 % in der Trockenmasse ein. Mit dem sehr späten Erntetermin des ersten Aufwuchses nahm vor allem der ADF-Gehalt zu. Die Rohprotein- aber auch die Zuckergehalte waren gering. Die Bestände des ersten Aufwuchses waren durch einen geringen Energiegehalt und sehr geringe Verdaulichkeitswerte gekennzeichnet. Der späte Schnittzeit-

punkt des ersten Aufwuchses (1. Schnitt, T2) wies erwartungsgemäß aus Sicht der Nährstoff- und Energiekonzentration die schlechtesten Ergebnisse auf.

Tabelle 2.: Trockenmasseerträge der Brachemischungen in den Erntejahren 2010 und 2011 unterteilt in den ersten Schnitt (früh/ spät) und den zweiten Schnitt (früh/ spät)

Jahr	Schnitt, Erntetermin	Trockenmasseertrag in dt TM/ha				
		Brache M1	Brache M2	Brache M3	Brache M4	MW
2010	1 Schnitt, T1	128,9	119,6	107,1	67,2	105,7
2011	1 Schnitt, T1	75,1	52,3	68,4	96,6	73,1
	MW	102,0	86,0	87,7	81,9	89,4
2010	1. Schnitt, T2	145,2	143,6	111,4	47,5	111,9
2011	1. Schnitt, T2	59,5	35,4	38,7	85,8	54,9
	MW	102,4	89,5	75,0	66,7	83,4
2010	2 Schnitt, T1	45,5	33,2	33,1	58,8	42,6
2011	2 Schnitt, T1	38,2	20,4	21,3	31,4	27,8
	MW	41,9	26,8	27,2	45,1	35,2
2010	2. Schnitt, T2	26,6	26,4	28,2	32,8	28,5
2011	2. Schnitt, T2	21,2	11,6	16,5	28,8	19,5
	MW	23,9	19,0	22,3	30,8	24,0
2010	Gesamt, T1	174,4	152,8	140,1	125,9	148,3
	Gesamt, T2	171,9	170,0	139,5	80,4	140,4
2011	Gesamt, T1	113,3	72,7	89,6	127,9	100,9
	Gesamt, T2	80,7	47,0	55,2	114,6	74,4
2010 und 2011	MW, T1	143,8	112,8	114,9	126,9	124,6
	MW, T2	126,3	108,5	97,4	97,5	107,4

Für den zweiten Aufwuchs nahmen die Rohfasergehalte des Futters mit Werten zwischen 26 und 31 % zwar auch ein erhöhtes Niveau ein, doch die extrem hohen Werte des ersten Aufwuchses wurden letztendlich nicht erreicht. Der Rohproteingehalt fiel bis auf eine Ausnahme unterdurchschnittlich aus. Der Rohaschegehalt lag in aller Regel über 10 %, was somit den Energiegehalt negativ beeinflusste. Vor dem Hintergrund fielen auch die Verdaulichkeitswerte und Energiekonzentration ähnlich gering aus wie die Werte zum ersten Aufwuchs. Der spätere Schnittzeitpunkt des zweiten Aufwuchses wirkte sich nicht unmittelbar beeinträchtigend auf die Futterqualitätsdaten aus.

Tabelle 3: Kenngrößen zum Futterwert und zur Vergärbarkeit der Brachemischungen

Kenngröße	Einheit	1. Schnitt 2010		1. Schnitt 2011		2. Schnitt 2010		2. Schnitt 2011	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
TM	%	41,9	53,3	24,0	38,4	20,0	29,1	27,1	41,2
Rohprotein	% d. TM	8,7	9,0	10,5	7,1	13,3	12,4	17,5	14,8
Rohfaser	% d. TM	36,2	35,5	30,4	32,8	29,7	25,6	30,7	28,3
ADF	% d. TM	42,9	45,1	38,6	40,0	39,1	35,0	44,6	37,0
NDF	% d. TM	60,2	63,0	55,9	61,8	54,4	54,4	55,6	56,3
Rohasche	% d. TM	8,7	10,3	8,0	18,9	12,3	12,2	10,2	10,3
Rohfett A	% d. TM	2,0	2,5	1,9	1,8	2,3	2,5	1,9	2,7
Gesamtzucker	% d. TM	7,5	6,9	9,4	9,1	2,7	10,6	3,0	5,7
Gasbildung	ml/ 200 mg TM	39,1	31,4	44,9	41,4	35,7	45,3	36,9	39,7
NEL	MJ NEL/ kg TM	5,6	5,1	5,9	5,8	4,9	5,4	5,5	5,5
Pufferkapazität	g MS/ 100 g TM	5,6	4,5	5,0	4,1	5,7	5,3	6,6	4,8
Nitrat	mg/ kg TM	1895,3	3965,5	237,8	269,6	1300,0	589,0	819,3	483,3
Z/PK-Quotient		1,4	1,6	1,9	3,1	0,5	2,1	0,4	1,2
VK		53	66,4	39,3	62,9	23,9	45,5	30,7	51,2

Zucker, Pufferkapazität und Nitrat beeinflussen die Silierbarkeit des Erntegutes. Der Quotient aus Zucker und Pufferkapazität sollte mindestens bei 3,0 und der Vergärbarkeitskoeffizient (VK) mindestens bei 45 liegen, wenn ein gutes Gärergebnis erreicht werden soll. Zudem wirkt ein Nitratgehalt von mindestens 4,0 g/ kg TM förderlich auf die Gärung, da der enzymatische Abbau von Nitrat in der Anfangsgärphase die Entwicklung der Buttersäurebildner hemmt.

Der für die Brachemischungen ermittelte Z/PK-Quotient nahm bis auf eine Ausnahme für beide Aufwüchse der Erntejahre 2010 und 2011 Werte unter 3,0 ein. War infolge der Witterungsbedingungen ein gutes Anwelken möglich, so konnte dennoch ein Vergärbarkeitskoeffizient oberhalb des Schwellenwertes von 45 erreicht werden. Das Anwelken auf TM-Gehalte über 30 % war im Rahmen des Versuches vor allem bei den Aufwüchsen im Herbst sehr unsicher. Zudem waren die Brachemischungen gemäß den Untersuchungen alle nitratarm.

Die Silagequalitäten (hier nicht tabellarisch dargestellt) fielen im Rahmen der Laborsilivertuche unterschiedlich aus. Eine stets gute Gärqualität konnte allen Silagen des ersten Aufwuchses bescheinigt werden. Bei den im Herbst gewonnenen Silagen wurden Fehlgärungsprozesse im unterschiedlichen Maße festgestellt.

In Tabelle 4 sind die Biogaserträge aufgeführt, die im Rahmen von Batch-Tests ermittelt wurden.

Daraus geht hervor, dass der Mais mit Abstand die höchste Biogasleistung erbrachte. Zwischen den Brachemischungen waren die Differenzen in der Biogausausbeute im Allgemeinen gering. Je älter das Pflanzenmaterial war, desto weniger Biogas wurde gebildet. Vor dem Hintergrund wurde zum Beispiel auch beim zweiten Aufwuchs mehr Biogas produziert als bei den sehr späten Ernteterminen der ersten Aufwüchse.

Tabelle 4: Biogaserträge der Brachemischungen

	Normliter / kg oTS							
	1. Schnitt 2010		1. Schnitt 2011		2. Schnitt 2010		2. Schnitt 2011	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Mais 100%	312,6	282,8			340,3	340,3	keine Untersuchung mehr (Projektende)	
BracheMischung 1	223,8	187,1	283,8	269,0	289,6	304,1		
BracheMischung 2	241,5	181,5	303,1	274,1	330,5	310,8		
BracheMischung 3	236,1	172,3	277,9	261,4	350	294,8		
BracheMischung 4	214,7	169,9	278,2	246,4	264,7	274		
MW ohne Mais	229,0	177,7	285,8	262,7	308,7	295,9		

In der Praxis werden überständige Pflanzenbestände aber nie als Alleinfutter in Biogasanlagen genutzt. Es wurde daher auch geprüft, wie sich die Mischgärung von Mist, Mais und Brachemischungen auf die Gasleistung auswirkt. Die Brachemischungen wurden in den Biogas-Versuchen mit Anteilen von 10 % eingesetzt. Das Ergebnis ist beispielhaft in Abbildung 1 mit dem ersten Aufwuchs 2010 des zweiten Erntetermines dargestellt. Die Mischvergärung erfolgte hierbei mit Geflügelmist (15%) und Silomais (75%). Die Versuchsergebnisse belegen eindeutig, dass bei einer Mischvergärung deutlich bessere Biogasleistungen zu erwarten sind als die alleinige Vergärung überständiger Pflanzenbestände. Es wurden sogar höhere Biogaserträge nachgewiesen als bei alleiniger Vergärung von Geflügel- oder auch Rindermist. Allerdings kamen die nachgewiesenen Biogasleistungen der Mischgärung nicht an

das hohe Niveau des Biogasertrages von Silomais bei alleiniger Vergärung heran. Das in Abbildung 1 dargestellte Ergebnis wurde auch in anderen Versuchen mit überständigen Pflanzenmaterialien (Brache- und Blümmischungen, Riedgras und Seggen) beobachtet.

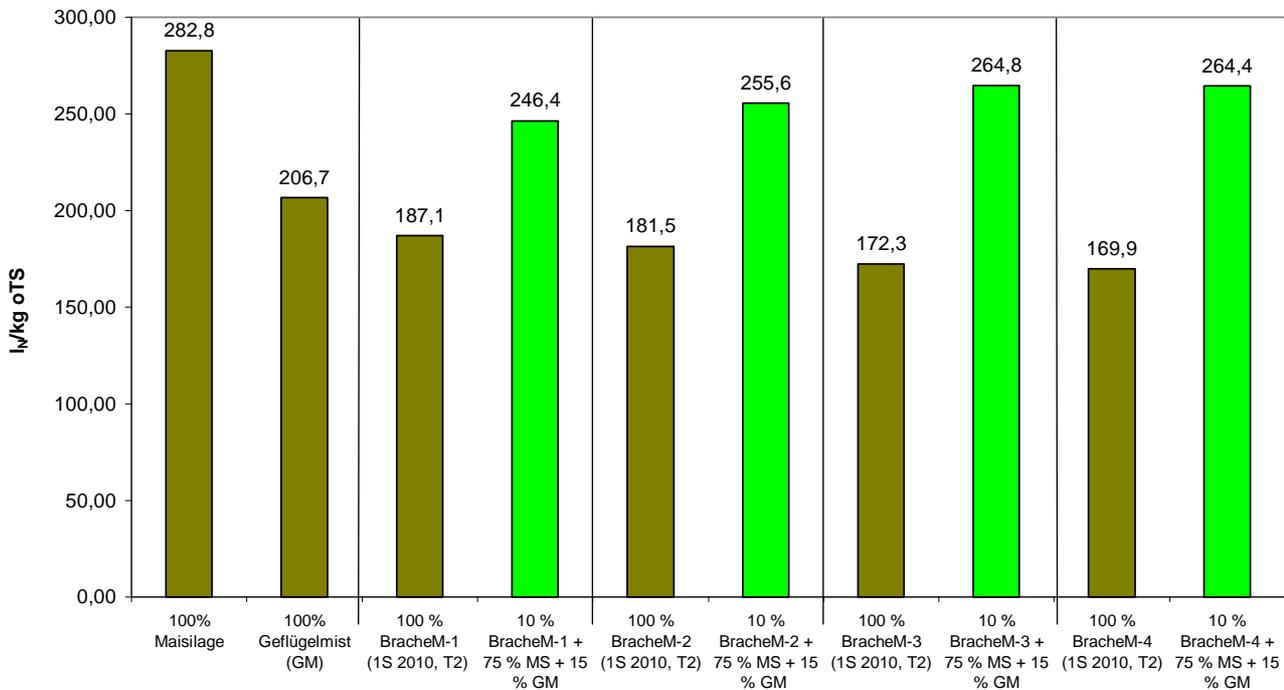


Abbildung 1: Biogaserträge der Brachemischungen 1. Schnitt 2010, T2 bei alleiniger und bei Mischvergärung

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Brachemischungen wurden im Versuch bewusst spät genutzt, damit sie zunächst ihren ökologischen Zweck im Hinblick auf Biodiversität, Artenvielfalt und Tierschutz erfüllen konnten. Das Ertragsniveau lag hierbei, je nach Erntetermin, zwischen 107 und 125 dt TM/ha. Eine Ernte nach Blühbeginn der Hauptbestandbildner wird auf Grundlage der vorliegenden Versuchsergebnisse nicht empfohlen, da damit kein zusätzlicher Biomassegewinn verbunden war. Auch der Futterwert sowie die Biogausbeute verschlechterten sich bei sehr späten Nutzungsterminen, wenn sie deutlich über die Blühphase hinausgingen.

Der Futterwert der Brachemischungen war aufgrund des späten Erntetermines gering. Die hohe Rohfasereinlagerung und die geringen Gehalte an leicht verdaulichen Nährstoffen wie Rohprotein und Zucker lassen keine hohe Methanbildung erwarten.

Die chemische Zusammensetzung der Brachemischungen wies auch für die Silierung keine günstigen Werte im Hinblick auf Z/PK-Quotient und Nitratgehalt auf. Bei Erreichen eines Anwelkgrades von mindestens 30 % und Beachtung wesentlicher siliertechnischer Maßnahmen können dennoch gute Gärergebnisse erwartet werden.

Die vorliegenden Daten belegen, dass die Mischvergärung eine gute Möglichkeit darstellt, überständige Pflanzenmaterialien in Biogasanlagen bei geringen Mischungsanteilen zu verwerten. Es kommt jedoch darauf an, das optimale Mischungsverhältnis auszuloten.

Auch wenn Pflanzenbestände aus extensiver oder semiextensiver Nutzung nicht an die Ertrags- und Gasbildungspotentiale von Mais herankommen, so erscheint es dennoch lohnenswert, sie als zusätzliche Biomassequelle hinzuzuziehen.

Vergleichende Untersuchung alternativer Verfahrensketten für die Einwerbung und Vergärung von Grünlandaufwüchsen

U. Keymer¹, M. Effenberger², S. Thurner², J. Ostertag³, M. Strobl¹, J. Winkler¹, R. Kissel², F. Ebertseder² und P. Scheiber²

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, ¹INSTITUT FÜR LÄNDLICHE STRUKTURENTWICKLUNG, BETRIEBSWIRTSCHAFT UND AGRARINFORMATIK,
Menzinger Str. 54, 80638 München,

²INSTITUT FÜR LANDTECHNIK UND TIERHALTUNG,
Vöttinger Str. 36, 85354 Freising

³INSTITUT FÜR TIERERNÄHRUNG UND FUTTERWIRTSCHAFT,
Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing; Stefan.Thurner@LfL.Bayern.de

1. Einleitung und Problemstellung

Grünland wird bisher überwiegend zur Grundfutterbereitung für Wiederkäuer genutzt. Als Alternative bietet sich auch die energetische Verwertung, entweder als Substrat in Biogasanlagen oder als Brennstoff an. Eine Studie zum Potential der Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung in Bayern kommt zu dem Ergebnis, dass bis 2020 ein Rückgang des Rinderbestands um 18,8 % zu erwarten ist, und somit eine Fläche von bis zu 200.000 ha Grünland freigesetzt werden kann (LfL, 2011). Weiterhin stehen auch vermehrt Klee grasflächen von ökologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen zur Verfügung. Im vorliegenden Projekt sollen die technischen und betriebswirtschaftlichen Herausforderungen der Nutzung von Gras oder Klee gras in Biogasanlagen analysiert und bewertet werden. Ziel der Arbeiten ist es, an fünf bestehenden Biogasanlagen, die überwiegend Gras oder Klee gras als Einsatzstoff nutzen, verfahrenstechnische und ökonomische Daten zu erheben. Daraus sollen Empfehlungen für die technische Ausstattung und das Management von Betrieben mit solchen Biogasanlagen abgeleitet werden. Die auszuwählenden Anlagen sollen möglichst die vorherrschende Vielfalt an Standorten sowie an Anlagenkonzepten in Bayern abbilden.

Beim Silomais ist pro Jahr nur eine Erntekampagne notwendig. Im Gegensatz dazu müssen Grünland- und Klee grasflächen je nach Standort und Nutzungsintensität zwischen zwei- bis sechsmal pro Jahr beerntet werden, wobei der gesamte Trockenmasseertrag in günstigen Fällen den von Silomais erreichen kann. Zudem erfordert jede Erntekampagne beim Grünland oder Klee gras mehrere absätzi ge Arbeitsschritte, die optimal aufeinander abgestimmt sein müssen. Ziel des ersten Projektteils ist es daher, verschiedene Verfahrensketten für die Ernte und Konservierung von Grünlandaufwüchsen für Biogasanlagen hinsichtlich der Verfahrensqualität und verschiedener verfahrenstechnischer Kenndaten wie z.B. Betriebsmitteleinsatz oder Arbeitskraft- und -zeitbedarf zu vergleichen und Optimierungspotentiale zu identifizieren. Im Speziellen soll der Schmutzeintrag in das Erntegut mit angepasster Technik bzw. korrekter Technikeinstellung reduziert werden, da die größeren Kornfraktionen zu Ablagerungen im Fermenter führen, welche das Risiko von Prozessstörungen erhöhen und später aufwändig aus den Gärbehältern entfernt werden müssen. Im Weiteren werden die konkurrierenden Verfahren Häcksler und Kurzschnittladewagen bezüglich der optimalen Schnittlänge, des dafür benötigten Energieaufwands und verschiedener Möglichkeiten zur späteren Nachzerkleinerung vor oder im Fermenter

und den dabei zu erzielenden Methanausbeuten untersucht. Bei der Konservierung der Erntegüter geht es vor allem um die Vermeidung von Verlusten. Dazu wird in regelmäßigen Abständen an den Betrieben ein Silocontrolling durchgeführt und entsprechende Kenngrößen wie der wöchentliche Vorschub ermittelt.

Der Einsatz hoher Anteile an Grünlandaufwuchs oder Klee gras in einer Biogasanlage ist im Vergleich zur gülle- und stärkebetonten Fütterung mit höheren Anforderungen an die Technik und das Management verbunden. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Materials müssen Eintrags-, Rühr- und Fördertechnik angepasst werden. Zudem muss aufgrund der chemischen Eigenschaften (hoher Stickstoffgehalt) mit hohen Ammoniumstickstoff-Gehalten in der Gärsuspension gerechnet werden, die in Form von Ammoniak zur Hemmung des Biogasprozesses führen können. An der LfL liegen aus mehreren Jahren des Monitorings von Biogasanlagen mit Ackerfrüchten (vorwiegend Silomais) als Einsatzstoffen umfangreiche Daten als Vergleichsbasis für das Monitoring der Vergärung von Grünland bzw. Klee gras basierten Biogasbetrieben vor (EFFENBERGER ET AL., 2010; BACHMAIER ET AL., 2011). Ziel dieses zweiten Projektteils ist es daher, basierend auf einer umfangreichen Datenerfassung verfahrenstechnische Kennzahlen der Biogaserzeugung zu ermitteln. Aus den Beobachtungen sollen Empfehlungen für die technische Ausstattung und das Management von Biogasanlagen, die überwiegend Grünland- oder Kleeaufwuchs vergären, abgeleitet werden.

Neben den verfahrenstechnischen Aspekten ergeben sich auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gras oder Klee gras in Biogasanlagen verschiedene Besonderheiten. Erfahrungsgemäß ist von höheren Erntekosten im Vergleich zu Getreide oder Mais sowie von Mehrkosten in der Anschaffung und im Anlagenbetrieb auszugehen. Zudem ist die Ertragslage von Grünland bzw. Klee grasflächen oft nur vage bekannt. Die daraus resultierende Unsicherheit führt zusammen mit den genannten Mehrkosten dazu, dass der Einsatz von Gras oder Klee gras als Substrat in Biogasanlagen oft nicht erstrebenswert erscheint. In bestimmten Regionen stehen Gras- und Klee grasflächen jedoch kostengünstig zur Verfügung, was die genannten Faktoren relativieren kann. Im Hinblick darauf soll die ökonomische Auswertung der ausgewählten Biogasanlagen mehr Aufschluss darüber geben, wie die Wirtschaftlichkeit von den genannten Faktoren im Detail abhängt. Dies betrifft neben der Rentabilität v.a. auch den Aspekt des Investitionsrisikos. Diesbezügliche Unterschiede bei den verschiedenen Anlagenkonzepten, die hinsichtlich Ernte und Gärprozess in der Praxis und auch bei den Pilotbetrieben bestehen, werden dabei besonders betrachtet. Aufbauend auf den Ergebnissen der einzelbetrieblichen Analysen ist es ein weiteres Ziel dieses dritten Projektteils, die entscheidenden Stellgrößen für die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Gras und Klee gras aufzuzeigen, um für Beratung und Praxis eine fundierte Planungsgrundlage zu schaffen.

2. Material und Methoden

Um geeignete Pilotbetriebe zu finden, wurde in Zusammenarbeit mit den Fachberatern an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bayern sowie durch Kontaktaufnahme mit verschiedenen Anlagenherstellern eine Liste mit Biogasbetrieben erstellt, die zum größten Teil Gras oder Klee gras als nachwachsenden Rohstoff einsetzen. Diese Betriebe wurden besucht und auf Ihre Eignung für eine Projektteilnahme überprüft, wobei grundlegende Daten zur Anlage und zum landwirtschaftli-

chen Betrieb erhoben wurden. Schließlich wurden fünf Pilotbetriebe ausgewählt (Tab. 1 und Tab. 2).

Tabelle 2: Technische Daten zu den Biogasanlagen der Pilotbetriebe

Betriebskennung	17	18	19	20	21
BHKW-Nennleistung [kW _{el}]	265	180	147	100	625
Anzahl BHKW *	1	2	1	1	2
Gärraum-Nutzvolumen [m ³]	2.400	1.200	1.800	1.540	4.800
Anzahl der Gärstufen	2	2	2	2	2
Gärtemperatur [°C]	44/52	42	50	43	45
Massenanteil GS / KGS** [%]	70	66	55	44	70
Zerkleinerung vor/im Fermenter	nein	nein	geplant	nein	ja

* BHKW: Blockheizkraftwerk

** am Gesamtinput inkl. Gülle; GS: Grassilage vom Grünland; KGS: Kleegrassilage vom Acker

Die ausgewählten Betriebe werden mit der erforderlichen Mess- und Datenverarbeitungstechnik ausgestattet bzw. nachgerüstet. Soweit möglich werden Daten automatisch geloggt und mittels Datenfernübertragung übermittelt. Daten von allen Erntekampagnen und vom Silocontrolling für den ersten Projektteil werden vor Ort automatisiert erhoben und wo nötig mit entsprechenden manuellen Aufzeichnungen und Probenahmen ergänzt. Daten, die für den zweiten Projektteil nicht automatisch aufgezeichnet werden können (z.B. Einsatzstoffmengen), werden von den Betreibern in einem elektronischen Betriebstagebuch dokumentiert. Hierfür wurde eine Anwendung für PDA programmiert, mit welcher der Betreiber die Betriebsdaten bei seinem täglichen Rundgang auf der Anlage erfassen und auf seinen PC übertragen kann. Von dort werden die Daten täglich per E-Mail an den Projektbearbeiter übermittelt.

Tabelle 2: Flächenausstattung der Pilotbetriebe und Verfahrensketten zur Ernte und Konservierung

Betriebskennung	17	18	19	20	21
Überwiegendes Substrat*	KGS	KGS	GS	GS	GS
Grünland / Klee gras [ha]	137	100	35	61	bis 400
Anzahl Schläge [n]	24	24	4	21	>100
Verfahrensglieder Mähen bis Schwaden*	MK + KS	MK + Band-schwader	MK + Z + KS	MK + Z + KS	MK + Z + KS
Verfahrensglieder Bergen*	H + LKW + SL	H + LKW + SL	KSL	KSL	H + KSL + Silierwagen
Verfahrensglieder Einlagerung*	Radlader + Schubraupe	Radlader	Radlader	Traktor	TL + Traktor

*KGS: Klee grassilage; GS: Grassilage; MK: Mähkombination; Z: Zetter; KS: Kreiselschwader; KSL: Kurzschnittladewagen; H = Häcksler; TL: Teleskoplader

Jeder Betrieb wird mindestens einmal im Monat oder bei Bedarf (z.B. Ernte) besucht, um die Messtechnik zu kontrollieren und Proben vom Erntegut sowie von den Einsatzstoffen, den Gärgemischen und ggf. dem Gärrest zu gewinnen. Neben den in

Tab. 3 dargestellten chemischen Parametern der Einzelproben werden in Proben von den Einsatzstoffen alle drei Monate Untersuchungen nach Weender und Van Soest sowie auf die Hauptnährstoffe und Indikatoren für den Gärprozess wie Gärsäuren und FOS/TAC-Wert durchgeführt. Ferner wird mit den Betreibern bei jedem Besuch ein Gespräch über den Verlauf des Anlagenbetriebs geführt.

Tabelle 3: Chemisches Untersuchungsprogramm für die Proben von den Pilotbetrieben

Parameter / Probenart*	Erntegut	Silagen und weitere feste Einsatzstoffe	Gülle	Gär-gemische	Gär-rückstand
TM [Massen-%]	x	x	x	x	x
Korr. TM-Gehalt [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	x	x	-	-	-
XA [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	(x)	x	x	x	x
oTM [% TM]	(x)	x	x	x	x
CSB [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]	-	(x)	-	(x)	(x)
KS4,3 [$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	-	-	x	-
FFS gesamt [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
FOS/TAC [-]	-	-	-	x	-
pH [-]	-	(x)	x	x	x
Milchsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	-	-	-
Essigsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Propionsäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
iso-Buttersäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Buttersäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
iso-Valeriansäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Valeriansäure [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	(x)
Alkohol [$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$] / [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	-	-	-
NH ₃ -Anteil am ges. N [%]	-	(x)	-	-	-
NH ₄ ⁺ -N [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	-	(x)	(x)	x	x

* x: Untersuchung an allen Proben; (x): Untersuchung an einem Teil der Proben

Bei der kontinuierlichen Datenauswertung werden für die Pilotbetriebe verfahrenstechnische Kennzahlen ermittelt, die zur Beurteilung der Effizienz und Leistungsfähigkeit der Verfahrensketten bei der Ernte und Konservierung sowie der Biogasanlagen erforderlich sind (vgl. Tab. 4 und 5). Durch das chemische Untersuchungsprogramm werden zusätzlich die Abbauleistung und die Stabilität des Gärprozesses beurteilt. Weitergehende Auswertungen, beispielsweise zum spezifischen Stromverbrauch der Hauptkomponenten (Rührwerke, Eintrags- und Pumpentechnik), erlauben eine Beurteilung des Einflusses der Beschaffenheit des Grünland- bzw. Klee-grasaufwuchses im Vergleich zu anderen Einsatzstoffen.

Die ökonomische Bewertung erfolgt anhand einer Leistungs-Kostenrechnung. Die relevante Erfolgsgröße ist dabei der Unternehmergewinn. Datengrundlage sind die entsprechenden bestands- und erfolgswirksamen Vorgänge im Unternehmen, die weitgehend aus den Aufzeichnungen der Buchhaltung entnommen werden, sowie ergänzende produktionstechnische Daten der Biogasanlagen. Die praktische Umsetzung dieser Auswertung erfolgt mit Hilfe des an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelten EDV-Programms „BZA Biogas nach DLG-Standard“

Tabelle 4: Auswahl aus den zu ermittelnden Kenngrößen der Verfahrensketten zur Ernte und zum Silocontrolling

Kenngröße	Einheit	Kenngröße	Einheit
Arbeitszeit	$h \cdot ha^{-1}$	Trockenmasse- (TM-) ertrag	$t \cdot ha^{-1}$
Flächenleistung	$ha \cdot h^{-1}$	Ernteverluste	%TM
Transportweg Straße/Feld	$km \cdot ha^{-1}$	Anschnittfläche	m^2
Transport/Verdichtungsleistung	$t \cdot h^{-1}$	Vorschub bei Siloentnahme	$m \cdot Woche^{-1}$
Treibstoffverbrauch	$l \cdot ha^{-1}$	Lagerungsdichte	$kg \cdot TM \cdot m^{-3}$
Frischmasseertrag	$t \cdot ha^{-1}$	Temperatur	$^{\circ}C$

Tabelle 5: Auswahl aus den zu ermittelnden Kenngrößen der Biogasanlagen

Kenngröße	Einheit	Kenngröße	Einheit
FM-Durchsatz*	$t \cdot d^{-1}$	Restmethanpotential	$l_N \cdot kg \text{ FM}^{-1}$
oTM-Durchsatz*	$t \cdot d^{-1}$	Stromausbeute oTM	$kWh \cdot t \text{ oTM}^{-1}$
Hydr. Verweilzeit	d	Netto-Stromausbeute	$kWh \cdot t \text{ oTM}^{-1}$
Raumbelastung	$kg \text{ oTM} \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	Eigenstrombedarf	$kWh \cdot d^{-1}$
CH ₄ -Gehalt im Biogas	Vol.-%	Wärme-Nutzung extern	$kWh \cdot d^{-1}$
H ₂ S-Gehalt im Biogas	ppm	Wärmeverbrauch	$kWh \cdot d^{-1}$
Biogasausbeute FM	$m^3_N \cdot t^{-1}$	Arbeitsausnutzung BHKW	%
Biogasausbeute oTM	$l_N \cdot kg \text{ oTM}^{-1}$	Elektr. Nutzungsgrad BHKW	%

* FM: Frischmasse; oTM: organische Trockenmasse

Aufgrund ihrer herausragenden Bedeutung werden die Kosten der Biomasse-Ernte-Logistik genauer untersucht. Neben den hier entstehenden Kosten werden auch produktionstechnische Daten erfasst, dabei vor allem die Einsatzumfänge von Arbeitskräften und Maschinen, der Kraftstoffverbrauch sowie die geernteten Substratmengen. Dies ermöglicht einen Vergleich der Ernteverfahren, indem die Kosten auf die Menge Erntegut bezogen werden.

Literatur

- EFFENBERGER, M., H. BACHMAIER, E. KRÄNSEL, A. LEHNER und A. GRONAUER (2010): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern - Abschlussbericht. *LfL-Schriftenreihe*: 1/2010.
- BACHMAIER, H., F. EBERTSEDER, M. EFFENBERGER, R. KISSEL, E. RIVERA GRACIA und A. GRONAUER (2011): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern – Fortsetzung 2008 – 2010. *LfL-Schriftenreihe*: 5/2011.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2011): Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie. *LfL-Schriftenreihe*: 4/2011.

Anaerobe Fermentation von Grünlandbiomasse: Einfluss der botanischen Diversität auf Qualitätsparameter und die potentielle Methanausbeute

J. Khalsa¹, T. Fricke¹, A. Weigelt², M. Wachendorf¹

¹UNIVERSITÄT KASSEL, GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE
ROHSTOFFE,

Witzenhausen, E-Mail: khalsa@uni-kassel.de

²UNIVERSITÄT LEIPZIG, SPEZIELLE BOTANIK UND FUNKTIONELLE BIODIVERSITÄT.

1. Einleitung und Problemstellung

Extensives Grünland, das traditionell zu Tierernährungszwecken genutzt wurde, ist eine Landschaftsform mit wichtigen Ökosystemfunktionen, u.a. dem Erhalt von zahlreichen Tier- und Pflanzenarten. Trotzdem muss in Zukunft mit einem Rückgang dieser Diversität gerechnet werden, da besonders in den entwickelten Ländern die Ansprüche an Futterqualität weit über das hinausgehen, was extensive Grünlandbiomasse bereitstellen kann. Die Landwirte stehen somit vor der Entscheidung die Nutzung dieser Flächen zu intensivieren oder sich von den Flächen zurückzuziehen. In beiden Fällen muss mit einem Rückgang der Artenvielfalt gerechnet werden. Wie auch bei der Tierernährung spielen für eine mögliche bioenergetische Nutzung solcher Biomassen (durch anaerobe Fermentation) insbesondere die Rohfaser (XF)- und Rohprotein (XP)-Gehalte eine entscheidende Rolle. Wenn sich der Erhalt von Diversität und eine bioenergetische Nutzung sinnvoll kombinieren lassen, kann zumindest der Erhalt der Ökosystemfunktionen dieser Flächen gewährleistet und darüber hinaus möglicherweise auch ein finanzieller Anreiz für den Landwirt geschaffen werden.

In einer Studie von White *et al.* (2004) haben sich Diversitätseffekte bezüglich der Qualitätsparameter angedeutet und es konnte eine Abnahme von XP und eine Zunahme von XF mit steigender Artenzahl beobachtet werden. Allerdings beruhte dieses Experiment auf der Auswertung von mehreren Standorten, was eine Entkopplung dieser Aussage von Standorteinflüssen schwierig macht. Wäre es möglich diese Effekte als tatsächliche (standortungebundene) Diversitätseffekte zu beobachten, so könnte man die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Vergäreigenschaften und Diversität (Artenzahl) besser verstehen.

Wie die Vergäreigenschaften und die Artenzusammensetzung/Artenzahl von extensiver Grünlandbiomasse zusammenhängen ist also eine bisher ungeklärte aber höchst relevante Frage, die für eine auf Erhalt von Diversität zielende Nutzung wesentlich ist.

In dieser Studie wurden deshalb die Sommer- und Herbstaufwüchse des Jena-Experiments aus den Jahren 2008 und 2009 auf ihre XF-, XP-, XL- und XA-Gehalte untersucht und mittels dieser die potentielle Methanausbeute der verschiedenen Artenzusammensetzungen ermittelt. Mit dem spezifischen Design des Jena-Experimentes ist es möglich den Einfluss einzelner funktioneller Gruppen auf die zu untersuchenden Parameter zu ermitteln und außerdem den Einfluss der Artenzahl hervorzuheben.

2. Material und Methoden

Pflanzenbestände aus dem Artenpool der Glatthaferwiesen wurden mit steigender Artenzahl (1 - 60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena im Jahr 2002 etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt. Der Versuchsaufbau basiert auf einer vollständig randomisierten Blockanlage mit 82 Parzellen der Größe 20 x 20m. Auf diesen Parzellen wurden (in 4-facher Wiederholung) alle möglichen Kombinationen von Artenzahl x Anzahl funktioneller Gruppen realisiert. Zum Erhalt der Zielbestände wurden die Parzellen regelmäßig gejätet. Eine Düngung fand nicht statt (detailliertes Versuchsdesign siehe Roscher *et al.*, 2004). Von allen 82 Parzellen wurden in den Jahren 2008 und 2009, von den Sommer- als auch von den Herbstaufwüchsen, 300g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle genommen. Die geerntete Biomasse wurde bei 70°C 48 Stunden getrocknet und der Aschegehalt (XA) wurde nach Erhitzen bei 550°C bestimmt.

Zur Bestimmung der Rohfaser- (XF) und Rohfettgehalte (XL) wurden 100 der 164 Proben nach Standardmethoden untersucht und dann für eine Nahinfrarotkalibration (XDS Rapid Content Analyser, FOSS NIRSystems Inc., Laurel, USA) verwendet. Die Werte aller 164 Proben wurden nach Kreuzvalidation (XF: $R^2 = 0.96$, RPD = 3.68; XL: $R^2 = 0.74$, RPD = 1.70) vorhergesagt. Rohprotein (XP) wurde direkt von dem N-Gehalt abgeleitet ($XP = N \times 6.25$), welcher mittels Elementaranalyse (vario MAX CHN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt wurde. Die N-freien Extraktstoffe (NfE) wurden berechnet mit: $NfE = 100 - XA - XF - XL - XP$. Die Summe aus NfE und XF wurde als die Fraktion der Kohlenhydrate definiert.

Zur Berechnung des substratspezifischen Methanausbeute (CH_4_{sub}) wurde die Methode der VDI-Norm 4630 leicht modifiziert, um die möglichen Unterschiede durch verschiedene botanische Zusammensetzungen der Substrate und die zwei Erntezeitpunkte mit zu berücksichtigen. Die Methode beruht auf den Konzentrationen der Weenderfraktionen (%TM), einem Verdauungskoeffizienten (D) für jede Fraktion und dem potentiellen Biogasertrag (B) der Kohlenhydrate, XL und XP. Die Werte für B wurden mittels einer stöchiometrischen Gleichung hergeleitet und können der VDI 4630 entnommen werden, genauso wie der mittlere Methangehalt des Biogases (M) für die entsprechenden Fraktionen. CH_4_{sub} wird in Normliter pro kg oTM angegeben, welche sich auf die Normbedingungen von 273.2 K und 101.3 kPa beziehen:

$$CH_4_{sub} (l_n \text{ kg}^{-1} \text{ oTM}) = (XF \times D_{(XF)} + NfE \times D_{(NfE)}) \times B_{(XF+NfE)} \times M_{(XF+NfE)} + XL \times D_{(XL)} \times B_{(XL)} \times M_{(XL)} + XP \times D_{(XP)} \times B_{(XP)} \times M_{(XP)}$$

Für diese Studien wurde D für jede Probe individuell berechnet um die dominierende funktionelle Gruppe, den Fasergehalt und den Schnitt zu berücksichtigen. Ermöglicht wurde dies durch lineare Regressionen basierend auf den DLG Futterwerttabellen (Tab. 1).

Die statistische Analyse wurde als Varianzanalyse (ANOVA) mit sequentiellen Fehlerquadratsummen (sequential sum of squares; Schmid *et al.*, 2007) durchgeführt. Der Block-Effekt (Block) wurde an erster Stelle in das Modell gestellt, so dass alle folgenden Parameter frei von denen im Block enthaltenen Varianzen, die durch Unterschiede in den Bodeneigenschaften und dem Flächenmanagement auftreten, interpretiert werden konnten. Die 60-Artenparzellen wurden lediglich als Referenzpunkt

für höchst mögliche Diversität genutzt, flossen aber in die ANOVA nicht mit ein. Außerdem mussten zwei Parzellen der Artenzahl=1 aus dem Datensatz, auf Grund von Etablierungsproblemen, entfernt werden.

Tab. 1: Lineare Regressionen für Grünlandbiomassen zur Herleitung von Verdaulichkeitswerten der Weenderfraktionen in Bezug auf Schnitzeitpunkt, Dominanz der funktionellen Gruppen (FGD) und des XF-Gehaltes (%TM).

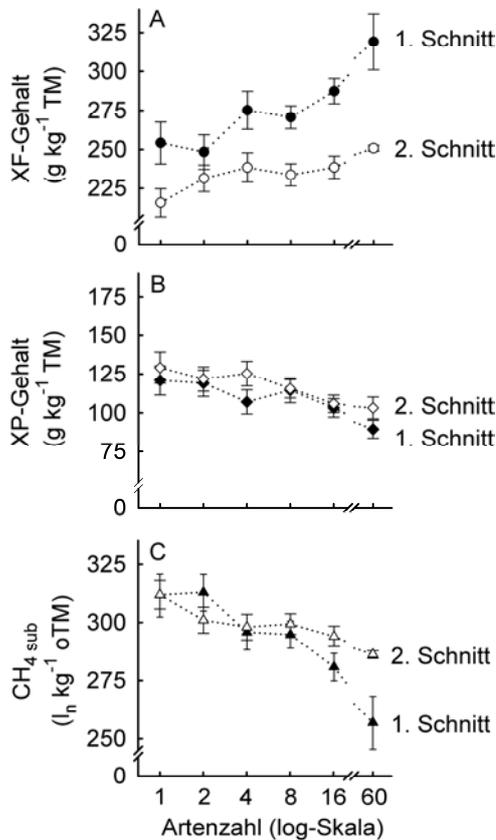
FGD	Fraktion	Linear Regression	R ²	RSE
Gräser (> 70% der Biomasse), 1. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -0.98 \times XF + 102.3$	0.88	2.11
	NfE	$D_{(NfE)} = -1.27 \times XF + 107.8$	0.94	1.89
	XL	$D_{(XL)} = 0.26 \times XF + 57.7$	0.80	0.78
	XP	$D_{(XP)} = -1.07 \times XF + 96.5$	0.95	1.48
Gräser (> 70% der Biomasse), 2. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -0.54 \times XF + 85.9$	0.99	0.18
	NfE	$D_{(NfE)} = -0.52 \times XF + 83.0$	0.69	1.81
	XL	$D_{(XL)} = -0.99 \times XF + 86.4$	0.70	3.36
	XP	$D_{(XP)} = -0.85 \times XF + 89.5$	0.69	3.00
Leguminosen und Kräuter (> 30% der Biomasse), 1. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -1.75 \times XF + 123.7$	0.95	2.03
	NfE	$D_{(NfE)} = -2.42 \times XF + 136.2$	0.98	1.80
	XL	$D_{(XL)} = -0.14 \times XF + 61.9$	0.01	6.47
	XP	$D_{(XP)} = -0.87 \times XF + 93.8$	0.91	1.33
Leguminosen und Kräuter (> 30% der Biomasse), 2. Schnitt	XF	$D_{(XF)} = -1.21 \times XF + 101.0$	0.99	0.30
	NfE	$D_{(NfE)} = -1.67 \times XF + 113.3$	0.99	0.01
	XL	$D_{(XL)} = -1.02 \times XF + 73.4$	0.59	3.93
	XP	$D_{(XP)} = -0.92 \times XF + 93.7$	0.98	0.59

3. Ergebnisse und Diskussion

In der statistischen Auswertung wurde deutlich, dass das Vorkommen von Gräsern und Leguminosen eine entscheidende Rolle für den XF- und XP-Gehalt der Biomasse spielt. So war der XF-Gehalt in beiden Schnitten signifikant höher (beide $p < 0.001$) wenn Gräser vorhanden waren und signifikant niedriger (1. Schnitt: $p = 0.003$; 2. Schnitt: $p = 0.007$) wenn Leguminosen mit in der Biomasse waren. Der Trend für den XP-Gehalt war genau umgekehrt aber ebenso signifikant in allen Fällen. Besonders deutlich wurden diese Trends beim Betrachten der Parzellen, die ausschließlich aus einer der jeweiligen funktionellen Gruppen bestand (Tab. 2). Interpretieren lässt sich der steigende XF-Gehalt durch hohe Artenzahl und das Vorkommen von Gräsern möglicherweise mit der Hypothese, dass die Nicht-Gras-Arten sich im zunehmenden Wettbewerb um Licht miteinander und insbesondere mit den Gräsern befinden und somit mehr Faserstrukturen bilden um ein höheres, vertikales Wachstum zu erlangen. Der sinkende XP-Gehalt mit steigender Artenzahl hängt sicherlich eng mit der N-Limitierung von hoch-diversen Systemen im Vergleich zu der höheren N-Verfügbarkeit in niedrig-diversen Systemen zusammen.

In Bezug auf die Artenzahl waren auch signifikante Effekte zu beobachten (Abb. 1), so nahm der XF-Gehalt in beiden Schnitten mit steigender Artenzahl zu (1. Schnitt: $p = 0.001$; 2. Schnitt: $p = 0.022$), wohingegen der XP-Gehalt mit steigender Artenzahl abnahm (1. Schnitt: $p = 0.037$; 2. Schnitt: $p = 0.001$). Somit nahm auch CH_4_{sub} mit steigender Artenzahl ab (1. Schnitt: $p = 0.001$; 2. Schnitt: $p = 0.004$), da der steigende XF-Gehalt zu immer mehr schwer verdaulicher Biomasse führt und der abnehmende XP-Gehalt maßgeblich für eine Abnahme der verdaubaren Energie steht.

Abb. 1: Veränderung der Qualitätszusammensetzung der Biomasse mit zunehmender Artenzahl. (A) zeigt den mittleren Rohfasergehalt (XF) und (B) den mittleren Rohproteingehalt (XP) inklusive Standardfehler, für jeweils den ersten und zweiten Schnitt. (C) zeigt die Veränderung des substratspezifischen Methanertrages (CH_4_{sub}) mit steigender Artenzahl. Alle Werte sind Mittelwerte aus beiden Jahren.



In Anbetracht der Bruttogesamtenergie (Methanertrag pro Hektar), die von den verschiedenen Diversitätsstufen zu erwarten ist, zeigt sich, dass bei einer Wandlung durch Vergärung, eine steigende Artenzahl einen positiven Effekt auf die Energieausbeute haben würde (Abb. 2).

Dieser Zusammenhang resultiert maßgeblich aus der positiven Artenzahl-Biomasseertrag-Beziehung, die ausführlich in Khalsa *et al.* (2012) diskutiert wurde. Die zunächst negativen Effekte der abnehmenden Vergärbarkeit wurden somit durch den zu erwartenden Anstieg der Biomasse mit steigender Artenzahl kompensiert.

Die Unterschiede im Methanertrag pro Hektar zwischen den beiden Schnitten waren vergleichbar mit einer Studie von Amon *et al.* (2007) an einer extensiven Grünlandfläche mit zwei Schnitten und Hanglage, bei der der erste Schnitt etwa 65% zu dem Jahresmethanertrag pro Hektar beitrug und der zweite Schnitt etwa 35%.

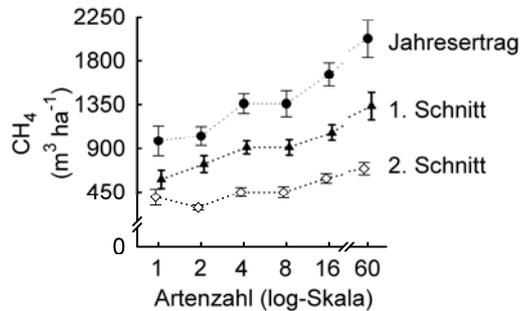


Abb. 2: Veränderung des flächenbezogenen Methanertrages mit steigender Artenzahl für beide Schnitte separat und als Summe der beiden Schnitte (Jahresertrag). Werte sind Mittelwerte aus beiden Jahren und die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

Tab. 2: Mittelwerte (g kg⁻¹ TM) der Rohfaser- (XF), Rohprotein- (XP), Rohfettgehalte (XL), stickstofffreie Extraktstoffe (NfE) und der substratspezifische Methanertrag (I_n kg⁻¹ oTM) in den funktionellen Gruppen Monokulturen. Werte sind Mittelwerte aus beiden Jahren.

	Schnitt	Gräser		Leguminosen		kl. Kräuter		gr. Kräuter	
		Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD
XF	1.	321	± 18.2	235	± 37.2	218	± 24.7	258	± 35.7
	2.	262	± 9.3	208	± 23.7	229	± 34.7	200	± 22.7
XP	1.	71.7	± 6.1	162	± 28.5	135	± 12.9	115	± 17.3
	2.	99.4	± 13.3	175	± 24.9	106	± 21.9	108	± 9.8
XL	1.	16.4	± 2.6	20.8	± 3.0	21.2	± 1.39	20.2	± 2.3
	2.	29.3	± 3.7	23.0	± 3.9	22.5	± 6.0	22.8	± 2.7
NfE	1.	523	± 17.9	509	± 18.7	539	± 24.0	521	± 33.6
	2.	506	± 16.6	503	± 29.1	522	± 19.0	545	± 32.0
CH ₄ sub	1.	270	± 8.4	325	± 30.7	336	± 19.1	304	± 27.7
	2.	289	± 4.1	321	± 16.2	300	± 24.5	317	± 14.4

4. Schlussfolgerungen

Es konnten deutliche Diversitätseffekte (sowohl in Bezug auf Artenzahl als auch auf das Vorkommen einzelner funktioneller Gruppen) bezüglich der Qualitätsparameter XF und XP nachgewiesen werden, die zunächst nicht positiv für eine Energiegewinnung aus hoch-diversem Extensivgrünland sprechen (da CH₄ sub dadurch geringer wird). Jedoch kann mit einer Kompensation dieser Effekte durch den steigenden Biomassertrag gerechnet werden, so dass bei der Bruttogesamtenergie wieder ein positive Diversität-Bioenergie-Beziehung zu erkennen ist.

Literatur

- AMON, T., AMON, B., KRYVORUCHKO, V., MACHMÜLLER, A., HOPFNER-SIXT, K., BODIROZA, V., HRBEK, R., FRIEDEL, J., PÖTSCH, E., WAGENTRISTL, H., SCHREINER, M. und ZOLLITSCH, W. (2007): Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology* 98, 3204–3212.
- KHALSA, J., FRICKE, T., WEISSER, W.W., WEIGELT, A. und WACHENDORF, M. (2012): Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion - Results from a diversity grassland experiment. *Grass and Forage Science*, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x.
- ROSCHE, C., SCHUMACHER, J., BAADE, J., WILCKE, W., GLEIXNER, G., WEISSER, W.W., SCHMID, B. und SCHULZE, E.-D. (2004): The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5, 107-121.
- SCHMID, B., HECTOR, A., HUSTON, M. A., INCHAUSTI, P., NIJS, I., LEADLEY, P. W. und TILMAN, D. (2007): The design and analysis of biodiversity experiments. In M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti (eds.). *Biodiversity and ecosystem functioning: Synthesis and perspectives*. Oxford Univ. Press, Oxford. 61–75.
- WHITE, T.A., BARKER, D.J. und MOORE, K.J. (2004) Vegetation diversity, growth, quality and decomposition in managed grasslands. *Agriculture Ecosystems & Environment* 101, 73–84.

Verbrennung von Grünlandbiomasse: Einfluss der botanischen Diversität auf Mineral- und Stickstoffgehalte und damit auf Korrosions- und Emissionsrisiken

J. Khalsa¹, T. Fricke¹, W. W. Weisser², A. Weigelt³, M. Wachendorf¹

¹UNIVERSITÄT KASSEL, GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, Witzenhausen, E-Mail: khalsa@uni-kassel.de

²TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, TERRESTRISCHE ÖKOLOGIE, München.

³UNIVERSITÄT LEIPZIG, SPEZIELLE BOTANIK UND FUNKTIONELLE BIODIVERSITÄT.

1. Einleitung und Problemstellung

Die bioenergetische Nutzung von diversem Extensivgrünland gilt als Alternative für Standorte, an denen sich Weidewirtschaft ökonomisch nicht mehr lohnt. Sie bietet die Möglichkeit zum Erhalt der Artenvielfalt und wichtigen Ökosystemfunktionen dieser Flächen. Die Verbrennung, als ein möglicher Wandlungsweg von Biomasse zu Energie, benötigt jedoch hinreichende Qualitätseigenschaften des Brennstoffs um Korrosions-, Emissions- und Verschlackungsprobleme vorbeugen zu können.

Die Konzentrationen von Stickstoff (N), Chlor (Cl) und Schwefel (S) in der Biomasse haben einen direkten Einfluss auf Korrosions- und Emissionseigenschaften. Die N-Konzentrationen in der Biomasse stehen in einer logarithmischen Beziehung zu den Stickoxid- (NO_x)-Emissionen (van Loo and Koppejan, 2008), welche zu den Hauptumwelteinflüssen der Biomasseverbrennung zählen. Cl ist verantwortlich für die Bildung von HCl und zusammen mit Alkalimetallen für die Bildung von Chloriden wie z.B. KCl oder NaCl. Außerdem kann bei der Verbrennung von Biomassen mit hohen Cl-Konzentrationen mit der Bildung von polychlorinierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F) gerechnet werden. S wird während der Verbrennung in Schwefeloxide (SO_x) umgewandelt, wobei 40-90% des S in der Asche gebunden werden und der Rest hauptsächlich in Form von SO₂ und zu einem kleineren Teil als SO₃ emittiert wird. Ein Teil der SO_x-Emissionen kann, durch eine Reaktion des SO_x mit den Alkalichloriden, zu Korrosionsschäden führen. Dabei wird Cl durch SO ersetzt und gasförmiges Cl₂ gebildet. Dieses gasförmige Cl₂ kann nun mit den Metallen in den Ofenwänden zu z.B. FeCl₂ reagieren.

Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) in der Asche spielen eine entscheidende Rolle für die Ascheerweichungstemperatur der Biomasse. Wenn z.B. die K-Konzentrationen gering und die Ca- und Mg-Konzentrationen hoch sind, kann mit hohen Ascheerweichungstemperaturen gerechnet werden.

Extensives Grünland ist oft sehr heterogen in seiner Zusammensetzung und schwankt daher stark in seinen Qualitätsparameter und somit auch in den Korrosions- und Emissionseigenschaften bezüglich einer Verwertung durch Verbrennung. Ob diese Schwankungen in Beziehung gestellt werden können mit dem Vorkommen funktioneller Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) und/oder der Artenzahl, war die Kernfragestellung dieser Studie, in der die Sommer- und Herbstaufwüchse des Jena-Experiments aus den Jahren 2008 und 2009 auf ihre N, Cl, S, K, Ca, Mg-Gehalte untersucht wurden.

2. Material und Methoden

Pflanzenbestände aus dem Artenpool der Glatthaferwiesen wurden mit steigender Artenzahl (1 - 60 Arten) auf einer Fläche nahe dem Saale-Ufer bei Jena im Jahr 2002 etabliert. Im Vorfeld wurden die 60 Arten in vier funktionelle Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) unterteilt. Der Versuchsaufbau basiert auf einer vollständig randomisierten Blockanlage mit 82 Parzellen der Größe 20 x 20m. Auf diesen Parzellen wurden (in 4-facher Wiederholung) alle möglichen Kombinationen von Artenzahl x Anzahl funktioneller Gruppen realisiert. Zum Erhalt der Zielbestände wurden die Parzellen regelmäßig gejätet. Eine Düngung fand nicht statt (detailliertes Versuchsdesign siehe Roscher *et al.*, 2004). Von allen 82 Parzellen wurden in den Jahren 2008 und 2009, von den Sommer- als auch von den Herbstaufwüchsen, 300g Frischmasseproben (Stoppelhöhe 5cm) aus einem repräsentativen Bereich in der Kernzone der Parzelle genommen. Die geerntete Biomasse wurde bei 70°C 48 Stunden getrocknet und der Aschegehalt wurde nach Erhitzen bei 550°C bestimmt. Mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die Konzentrationen von S, Cl, K, Ca und Mg bestimmt während N-Konzentrationen durch Elementaranalyse (vario MAX CHN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Deutschland) bestimmt wurden.

Die statistische Analyse wurde als Varianzanalyse (ANOVA) mit sequentiellen Fehlerquadratsummen (sequential sum of squares; Schmid *et al.*, 2007) durchgeführt. Der Block-Effekt (Block) wurde an erster Stelle in das Modell gestellt, so dass alle folgenden Parameter frei von denen im Block enthaltenen Varianzen, die durch Unterschiede in den Bodeneigenschaften und dem Flächenmanagement auftreten, interpretiert werden konnten. Die 60-Artenparzellen wurden lediglich als Referenzpunkt für höchst mögliche Diversität genutzt, flossen aber in die ANOVA nicht mit ein. Außerdem mussten zwei Parzellen der Artenzahl = 1 aus dem Datensatz, auf Grund von Etablierungsproblemen, entfernt werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Unter den verschiedenen funktionellen Gruppen gab es keine die ausschließlich zu einer Verbesserung der Verbrenneigenschaften der Gesamtbiomasse geführt hätte (Tab. 1).

Die Leguminosen z.B. erhöhten leicht den Mg-Gehalt, verringerten den S-Gehalt, aber erhöhten auch das Risiko der NO_x-Bildung. Gräser hingegen verringerten die Gefahr von NO_x-Emissionen, aber auch den Mg-Gehalt, was sich negativ auf die Ascheerweichungstemperatur auswirken kann. Entlang des Artenzahlgradienten nahmen N und S signifikant (von 1 zu 60 Arten in beiden Schnitten ab (bei N um 14 % im 1. Schnitt und 18% im 2. Schnitt; bei S um 23% und 16%; Abb 1.).

Dies ist zunächst ein positiver Trend jedoch wird in Abb. 2. deutlich, dass die Werte generell weit über den empfohlenen Grenzwerten liegen.

In Abb. 3. zeigt sich, dass besonders die Konzentrationen von K sehr hoch sind und zu einem hohen Verschlackungsrisiko beitragen. Allerdings sind auch die Ca-Konzentration hoch und können diesem Trend entgegen wirken. Hierbei sind insbesondere die Leguminosen von Vorteil, die geringe K- und hohe Ca-Gehalte haben

Tab. 1: Varianzanalyse (ANOVA) von Stickstoff- (N), Magnesium- (Mg) und Schwefelgehalt (S) in Abhängigkeit der Artenzahl (AZ) und Vorkommen/Nichtvorkommen der funktionellen Gruppen (Lg = Leguminosen; Gr = Gräser; kl. K = kleine Kräuter; gr. K = große Kräuter). Erster und zweiter Schnitt wurden separat analysiert. Pfeile deuten auf eine Zunahme (↑) oder Abnahme (↓) mit dem Vorkommen der jeweiligen funktionellen Gruppe oder der ansteigenden Artenzahl hin. (Freiheitsgrade = FD).

Schnitt	Parameter	FD	N (g kg ⁻¹ TM)		Mg (g kg ⁻¹ DM)		S (g kg ⁻¹ DM)	
			F	P	F	P	F	P
1.	Block	3	2	0.182	4	0.013	7	<0.001
	Log (AZ)	1	3	0.082↓	10	0.003↓	35	<0.001↓
	Lg	1	13	<0.001↑	68	<0.001↑	3	0.105
	Gr	1	24	<0.001↓	74	<0.001↓	21	<0.001↓
	kl. K	1	1	0.367	<1	0.498	<1	0.817
	gr. K	1	1	0.453	<1	0.919	7	0.009↓
	Residuen	67						
2.	Block	3	2	0.149	5	0.003	2	0.146
	Log (AZ)	1	11	0.001↓	8	0.006↓	23	<0.001↓
	Lg	1	79	<0.001↑	18	<0.001↑	19	<0.001↓
	Gr	1	7	0.008↓	13	0.001↓	<1	0.741
	kl. K	1	1	0.246	1	0.416	<1	0.998
	gr. K	1	10	0.003↓	<1	0.578	<1	0.691
	Residuen	67						

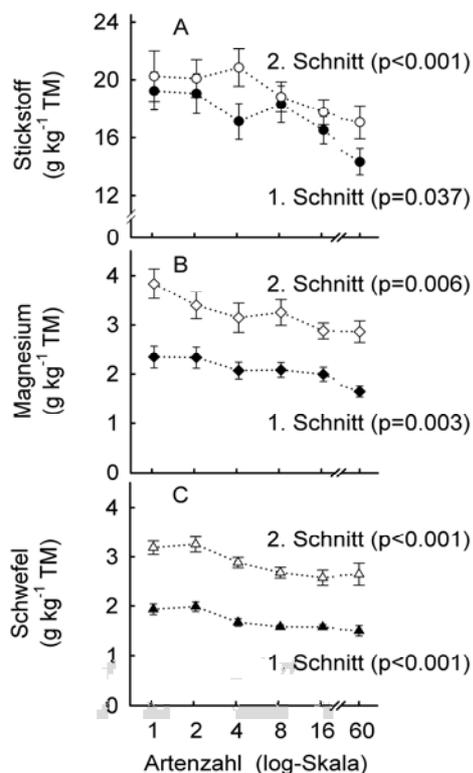


Abb. 1: Einfluss der Artenzahl auf N-, Mg- und S-Gehalt in den Biomassen der beiden Schnitte. Fehlerbalken zeigen Standardfehler.

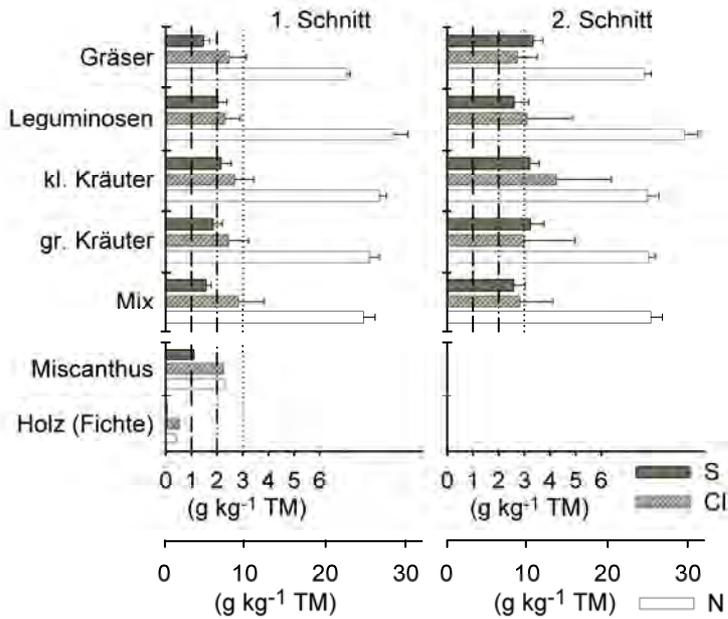


Abb. 2: S-, Cl- und N-Konzentrationen in den Funktionele-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionele-Gruppen-Mischungen (Mix) zu beiden Schnittzeitpunkten. Außerdem sind dargestellt der 1 g kg^{-1} TM-Grenzwert (—), relevant für Korrosion durch S und Cl, der 2 g kg^{-1} TM-Grenzwert (---), relevant für SO_x -Emissionen und der 3 g kg^{-1} TM-Grenzwert (····), relevant für PCDD/F-Emissionen bedingt durch Cl (Grenzwerte nach Oberberger *et al.*, 2006). Zum Vergleich wurden Werte für Holz (Fichte, als Hackschnitzel) und Miscanthus aufgeführt.

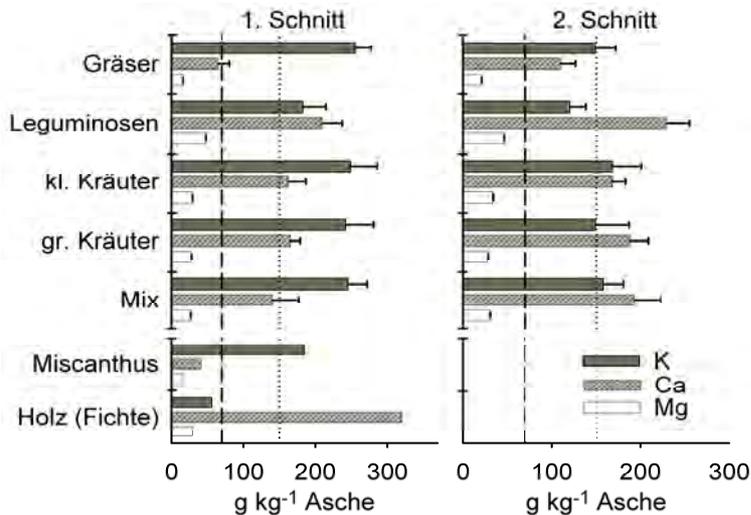


Abb. 3: K-, Ca- und Mg-Konzentrationen in der Asche der Funktionele-Gruppen-Monokulturen und den Alle-Funktionele-Gruppen-Mischungen (Mix) zu beiden Schnittzeitpunkten. Der 70 g kg^{-1} TM-Grenzwert (—), den die K-Konzentrationen nicht überschreiten sollten und der 150 g kg^{-1} TM-Grenzwert (---), über dem die Ca-Konzentrationen liegen sollten um die Ascheerweichungstemperaturen hoch zu halten, wurden nach Oberberger *et al.* (2006) dargestellt.

4. Schlussfolgerungen

In dieser Studie konnten eindeutige Diversitätseffekte für verbrennungsrelevante Parameter von extensiver Grünlandbiomasse nachgewiesen werden. Diese werden detaillierter in Khalsa *et al.* (2012) diskutiert. Sowohl das Vorkommen von einzelnen funktionellen Gruppen, als auch die Artenzahl können sich positive auf Emissions-, Korrosions- und Verschlackungsrisiko auswirken. Allerdings stehen positiven Attributen bestimmter funktioneller Gruppen oftmals auch negative gegenüber. Generell lässt sich sagen, dass insbesondere die Konzentrationen von N, Cl, S und K sehr hoch waren und eine Aufbereitung der Biomasse erforderlich machen. Es gab erfolgreich Studien zu einem hydrothermalen Konditionierungsverfahren gekoppelt mit einer mechanischen Entwässerung (IFBB), bei dem z.B. 74-84 % des K und 79-89 % des Cl, in Abhängigkeit der Konditionierungstemperatur, aus der Biomasse gewaschen werden konnten (Richter *et al.*, 2010; Richter *et al.*, 2011). Solch eine Aufbereitung ist für die hier untersuchten Biomassen zu empfehlen.

Literatur

- KHALSA, J., FRICKE, T., WEISSER, W.W., WEIGELT, A. und WACHENDORF, M. 2012: Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion - Results from a diversity grassland experiment. *Grass and Forage Science*, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T. und BÄRNTHALER, G. (2006): Chemical properties of solid biofuels - significance and impact. Standardisation of Solid Biofuels in Europe. *Biomass and Bioenergy* 30, 973–982.
- RICHTER, F., FRICKE, T. und WACHENDORF, M. (2010) Utilization of semi-natural grassland through integrated generation of solid fuel and biogas from biomass. III. Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on solid fuel properties and on energy and greenhouse gas balances. *Grass and Forage Science* 65, 185–199.
- RICHTER, F., FRICKE, T. und WACHENDORF, M. (2011) Influence of sward maturity and pre-conditioning temperature on the energy production from grass silage through the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB): 1. The fate of mineral compounds. *Bioresource Technology* 102, 4855–4865.
- ROSCHER, C., SCHUMACHER, J., BAADE, J., WILCKE, W., GLEIXNER, G., WEISSER, W.W., SCHMID, B. und SCHULZE, E.-D. (2004): The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5, 107-121.
- SCHMID, B., HECTOR, A., HUSTON, M. A., INCHAUSTI, P., NIJS, I., LEADLEY, P. W. und TILMAN, D. (2007): The design and analysis of biodiversity experiments. In M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti (eds.). *Biodiversity and ecosystem functioning: Synthesis and perspectives*. Oxford Univ. Press, Oxford. 61–75.
- VAN LOO, S. und KOPPEJAN, J. (2008): *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan, London, UK.

Energie- und Emissionsbilanz von Anbausystemen für Energiepflanzen zur Biogaserzeugung

Lars Klingebiel, Reinhold Stülpnagel, Lutz Bühle, Rüdiger Graß, Michael Wachendorf

FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
UNIVERSITÄT KASSEL,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen; klingebiel@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Die Anzahl von Biogasanlagen ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Die damit verbundene Zunahme des Anteils an Mais in der Fruchtfolge bringt allerdings ökologische Nachteile mit sich und stößt in der Bevölkerung z. T. auf Widerstand. Daher ist es nötig, den Betreibern von Biogasanlagen mögliche Alternativen zum Maisanbau zu bieten, um Fruchtfolgen erweitern zu können. In dem Verbundprojekt EVA (Förderung durch BMELV über Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe), in dem sie erarbeitet werden sollen, werden im Teilprojekt 6 verschiedene Pflanzenarten in unterschiedlichen Anbausystemen untersucht (STÜLPNAGEL, 2012). Hierin wird der Anbau von Mais und Sonnenblumen im Hauptfruchtanbau nach Senf dem Anbau in Zweikulturnutzung nach Winterroggen gegenübergestellt. Zur Bewertung dieser Alternativen werden Energie- und Emissionsbilanzen mit dem gegenwärtig verfügbaren Datenmaterial und aufbauend auf BÜHLE et al. (2011) berechnet sowie die jeweiligen Einsparpotenziale an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen ermittelt.

2. Material und Methoden

Der Systemversuch zur Zweikulturnutzung zum Vergleich mit dem Hauptfruchtanbau wurde von Herbst 2005 bis Herbst 2009 (bzw. von 2005 bis 2008 in Gülzow) durchgeführt. Um möglichst viele Umwelten (unterschiedliche Bodenarten, Temperatur, Wasserversorgung, Vegetationszeit und Einstrahlung) mit einbeziehen zu können, wurde der Anbau an sieben Standorten in Deutschland in vier bzw. drei Jahren (Gülzow) geprüft (HEUSER, 2010, STÜLPNAGEL, 2012):

- Dornburg / Thüringen (Parabraunerde, 65 Bodenpunkte (BP), Ø 564 mm a⁻¹, 9,2°C, 2.524 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Gülzow / Mecklenburg-Vorpommern (Kolluvium-Pseudogley, 45 BP, Ø 580 mm a⁻¹, 9,2°C, 2.669 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Haus Düsse / Nordrhein-Westfalen, (Haftpseudogley-Parabraunerde; 72 BP, Ø 824 mm a⁻¹, 9,7°C, 2.657 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Raischholzhausen / Hessen (Parabraunerde-Haftpseudogley; 65 BP, Ø 660 mm a⁻¹, 9,7°C, 2.588 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Straubing / Bayern (Parabraunerde; 76 BP, Ø 682 mm a⁻¹, 8,7°C, 3.041 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Werlte / Niedersachsen (Braunerde; 31 BP, Ø 794 mm a⁻¹, 9,0°C, 2.637 Wh m⁻² Tag⁻¹)
- Witzenhausen / Hessen (Haftnässe Parabraunerde-Braunerde; 80 BP, Ø 629 mm a⁻¹, 8,2°C, 2.712 Wh m⁻² Tag⁻¹).

Im Hauptfruchtanbau wurden Mais und Sonnenblumen nach der Sommerzwischenfrucht Senf, die im Herbst ausgesät und als abfrierender Mulch bis im Frühjahr als Erosionsschutz und Humuslieferant auf dem Feld verblieb, angebaut. Dies wird verglichen mit dem Anbau von Mais und Sonnenblumen in der Zweikulturnutzung nach Winterroggen als Erstkultur, der im Herbst ausgesät und in der Milchreife geerntet wurde. Winterroggen, Mais und Sonnenblume werden als Ganzpflanze zur Silagebereitung für die Biogaserzeugung mit anschließender Gasverbrennung in Kraft-Wärme-Kopplung (Gas-Otto-Motor) genutzt. Unter Einbeziehung entstehender Lagerungsverluste (KTBL, 2007) wird die Menge an Biogas aus der Silage berechnet und daraus die Menge an Strom und Wärme abgeleitet.

Basis für die Energie- und Emissionsbilanzen sind neben den jeweiligen Jahreserträgen alle Bewirtschaftungsmaßnahmen und dessen Bedarf an Dieseldieselkraftstoff (KTBL, 2009). Der verbrauchsspezifische Gesamtenergiebedarf und die damit verbundenen verbrauchsspezifischen Emissionen der Anbautechnik, der Saatgut-, Dünger-, Pflanzenschutz- und Dieselpflege sowie die Emissionen aus fossiler Stromproduktion als Hilfsenergie im vorgelagerten Bereich wurden mit dem „Globalen Emissionsmodell integrierter Systeme“ (GEMIS, 2011) berechnet.

Die Bruttoenergieproduktion setzt sich aus der Produktion von Strom und Wärme aus dem gewonnenen Biogas des Nettoertrags an Silage (abzüglich Silierverluste) zusammen. Von dieser werden der Dieserverbrauch für Anbau, Ernte und Bereitstellung der Kulturen einschließlich Vorleistungen für die Pflanzenproduktion sowie den Energieeinsatz in Form von Strom zum Betrieb der Biogasanlage abgezogen, um den Gewinn an Nettoenergie zu erhalten. Dieser Eigenstromverbrauch setzt sich zusammen aus dem Betrieb von Rührwerken, Pumpen, Feststoffeintrag, Fermenteraggregate, Umwälzpumpen für die Fermenterbeheizung und des Eigenstrombedarfs des BHKW (BIOGASMESSPROGRAMM, 2005). Der Verbrauch an Eigenwärme beinhaltet den Wärmebedarf zur Silageerwärmung, zur Fermenterheizung und den Wärmeverlust.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel aller Standorte und Jahre wurden mit der Zweikulturnutzung sowohl mit Mais als auch mit Sonnenblumen nach Winterroggen höhere Jahreserträge erzielt als in der Hauptkulturnutzung. Der durchschnittliche Ertrag des Senfs in der Hauptkulturnutzung von 2 t TM ha^{-1} ist nicht mitgerechnet worden, da der Senf als Erosionsschutz und Humuslieferant nicht zur Energiegewinnung genutzt wurde. Die Anbaumaßnahmen sind aber im Dieserverbrauch und in den resultierenden Treibhausgas-Emissionen enthalten (Tab. 1).

Aufgrund des höheren Aufwandes für Anbau und Ernte von Winterroggen im Vergleich zum Anbau von Senf ist der Dieserverbrauch in der Zweikulturnutzung höher als im Hauptfruchtanbau. Die höchste Brutto- sowie Nettoenergieproduktion wurde mit Winterroggen als Erstkultur und Mais als Zweitkultur erzielt. Trotz nahezu Ertragsgleichheit zwischen Winterroggen gefolgt von Sonnenblumen und Mais im Hauptfruchtanbau war der Energiegewinn mit Mais im Hauptfruchtanbau größer (Tab. 1). Grund hierfür ist die geringere Verdaulichkeit der organischen Substanz der Sonnenblume. Allerdings gibt es hier Unterschiede zwischen den Standorten aufgrund von Ertragsunterschieden. So konnte an den Standorten Dornburg und Gülzow im Mittel aller Jahre auch mit der Sonnenblume als Zweitkultur und dem Winter-

roggen als Erstkultur eine höhere Energieproduktion aus den Daten abgeleitet werden als mit Mais nach Senf. Die Maiserträge waren dort mit nur 16,2 t TM ha⁻¹ im Mittel über alle Jahre im Vergleich zu den anderen Standorten (Ø 21,2 t TM ha⁻¹) deutlich geringer.

Tab. 1: Übersicht zum Jahresertrag, zur Energieproduktion (brutto, netto), zum Energieeinsatz und zu den Einsparmöglichkeiten (brutto, netto) an Treibhausgasen (THG) in den beiden Anbausystemen im Mittel aller Standorte und Jahre

	Hauptkulturnutzung nach Senf		Zweikulturnutzung nach Winterroggen	
	Mais	Sonnenblume	Mais	Sonnenblume
Jahresertrag (t TM ha ⁻¹)	19,9	13,0	23,4	20,5
Bruttostromproduktion (kWh ha ⁻¹)	23.091	13.735	26.292	22.269
Bruttowärmeproduktion (kWh ha ⁻¹)	25.978	15.451	29.578	25.053
Σ Bruttoenergieproduktion (kWh ha ⁻¹)	49.069	29.186	55.870	47.322
Eigenstromverbrauch (kWh ha ⁻¹)	974	580	1.110	940
Eigenwärmeverbrauch (kWh ha ⁻¹)	21.431	12.955	24.496	20.854
Dieserverbrauch (kWh ha ⁻¹)	2.017	1.846	2.410	2.171
Σ Eigenenergieeinsatz (kWh ha ⁻¹)	24.422	15.380	28.016	23.965
Nettoenergieproduktion (kWh ha ⁻¹)	24.647	13.806	27.854	23.358
THG-Emission (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	3.817	2.590	5.749	4.954
Bruttoeinsparung (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	23.512	13.922	26.742	22.619
Nettoeinsparung (kg _{CO2-äq} ha ⁻¹)	19.695	11.331	20.993	17.665

Wird der Nettoenergiegewinn dem Primärenergiebedarf gegenübergestellt, der für die Gewinnung von Strom und Wärme im gleichen Umfang aus fossilen Energieträgern nötig wäre (GEMIS, 2011), können hieraus im Mittel aller Standorte und Jahre Nettoenergieeinsparungen beim Zweikulturanbau mit Winterroggen und Mais von über 73.000 kWh ha⁻¹ abgeleitet werden. Die Einsparungen an fossiler Energie mit Mais im Hauptfruchtanbau und Winterroggen mit Sonnenblume sind mit 65.000 bzw. 62.000 kWh ha⁻¹ deutlich geringer. Mit der Sonnenblume im Hauptfruchtanbau lässt sich nur fossile Energie im Umfang von ca. 40.000 kWh ha⁻¹ einsparen (Abb. 1).

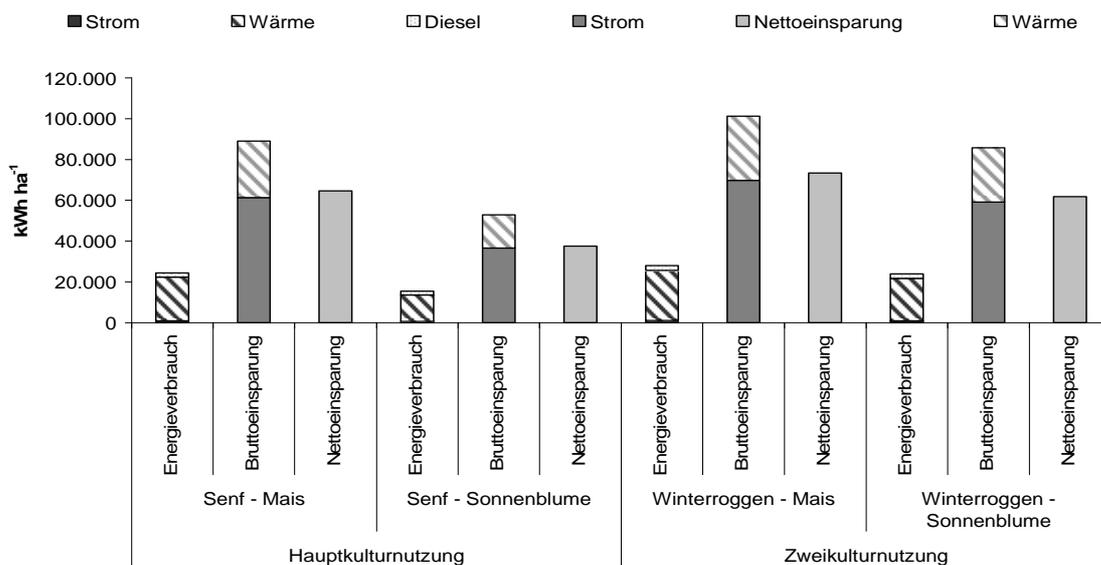


Abb. 1: Energieeinsparpotenzial im Mittel aller Standorte und Jahre (2006 – 2009)

Mit dem Anbau von Ackerkulturen und mit dem Betrieb einer Biogasanlage entstehen Emissionen. Diese wurden den Emissionen gegenübergestellt, die im Rahmen der Produktion der gleichen Menge an Strom und Wärme aus fossilen Energieträgern frei werden (GEMIS, 2011). Aufgrund des höheren Aufwandes für Anbau und Ernte in der Zweikulturnutzung ergeben sich höhere Treibhausgasemissionen als in der Hauptkulturnutzung (Tab. 1). Jedoch kann mit Winterroggen als Erstkultur und dem Mais als Zweitkultur durch den höheren Nettoenergiegewinn mehr an Treibhausgasen eingespart werden als im Hauptfruchtanbau mit Mais. Die Minderung der Emission an Treibhausgasen ist beim Anbau von Sonnenblume in Hauptfrucht oder als Zweitkultur im Mittel aller Standorte und Jahre geringer als beim Anbau von Mais (Abb. 2). Allerdings waren auch hier an den Standorten Dornburg und Gülzow die Einsparpotentiale mit Mais im Hauptfruchtanbau geringer als in der Zweikulturnutzung.

Während im Rahmen von Energie- und Emissionsbilanzen die Ergebnisse auf den mengen-spezifischen Energieverbräuchen auf der Basis der Ernteerträge beruhen, fließt im Rahmen der ökonomischen Analyse neben der Berücksichtigung der Menge bzw. Masse an Erntegut auch der Faktor Zeit ein. Insbesondere die zweimalige Ernte in der Zweikulturnutzung führt zu höheren Kosten je Tonne Erntegut (AURBACHER und KORNTATZ, 2012; KTBL, 2009), aus der höhere Gesamtkosten bei einer Zweikulturnutzung resultieren. Daher bedarf es mit der Zweikulturnutzung noch deutlicherer Mehrerträge, damit nicht nur eine größere Umweltentlastung zu verzeichnen ist, sondern auch durch höhere Deckungsbeiträge dieses Verfahren empfohlen werden kann und von der Praxis angenommen wird.

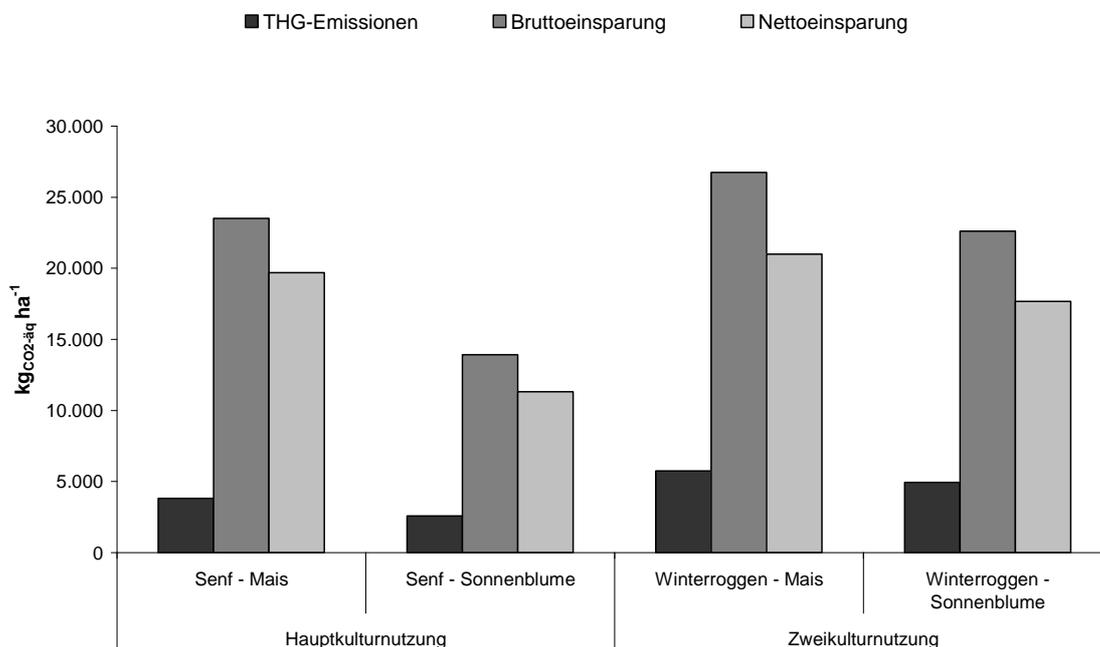


Abb. 2: Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen im Mittel aller Standorte und Jahre (2006 – 2009)

4. Schlussfolgerungen

Mit dem Betrieb von Biogasanlagen lassen sich fossile Energieträger und Treibhausgase einsparen. Die Zweikulturnutzung mit Winterroggen als Erstkultur und Mais als Zweitkultur war an allen Standorten dem Mais im Hauptfruchtanbau überlegen. Die Sonnenblume in Zweikulturnutzung kann regional zu guten Ergebnissen führen. Dagegen bietet der Anbau der Sonnenblume als Hauptfrucht für den Biogasanlagenbetreiber noch keine Alternative.

5. Danksagung

Wir danken dem Fördermittelgeber, dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die Finanzierung der Untersuchungen und für ihre Begleitung des Vorhabens.

Literatur

- AURBACHER, J., KORNAZ, P. (2012): Persönliche Mitteilung (Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Universität Gießen) sowie Zwischenbericht 2011 zur ökonomischen Begleitforschung zum Verbundvorhaben EVA II an die FNR, Mai 2012
- BIOGASMESSPROGRAMM (2005): Ergebnisse des Biogasmessprogramms. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
- BÜHLE, L., STÜLPNAGEL, R., WACHENDORF, M. (2011): Comparative life cycle assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) and whole crop digestation (WCD) in Germany. *Biomass and Bioenergy* 35, 363 – 373
- GEMIS (2011): Globales Emissions-Modell integrierter Systeme Version 4.6
- HEUSER, F. (2010): Prüfung des Zweikultur-Nutzungssystems für die Bereitstellung von Energiepflanzen auf sieben Standorten in Deutschland. *Dissertation* Universität Kassel, FB 11
- KTBL (2007): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt. 14. Auflage
- STÜLPNAGEL, R. (2012): Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR). Verbundvorhaben EVA – Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, Teilprojekt 6. <http://www.eva-verbund.de/struktur/zweikulturnutzungs-und-oekoversuch.html>

Eignung von Grünlandaufwüchsen mit dem Bestandesbildner *Equisetum palustre* L. für Verfahren der Biomethanisierung

J. Müller, D. Wiedow, C. Jantzen und L. Dittmann

LEHRSTUHL F. LANDSCHAFTSÖKOLOGIE U. STANDORTKUNDE, ARBEITSGRUPPE GRÜNLAND
U. FUTTERBAU,
Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock (juergen.mueller3@uni-rostock.de)

1. Einleitung und Problemstellung

Im Sinne der Vermeidung von Konkurrenzeffekten bei der Flächennutzung (food vs. energy) sollte der Schwerpunkt energetischer Grünlandverwertungen auf Aufwüchsen liegen, die in der Tierhaltung nicht eingesetzt werden können. Insbesondere mit Giftpflanzen kontaminierte Pflanzenbestände böten sich daher für derartige alternative Verwertungspfade an. Allerdings können von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen der Gärsubstrate inhibitorische Effekte auf die komplexen Stoffumwandlungsprozesse der Biomethanisierung ausgehen (Chen *et al.*, 2008). Vor diesem Hintergrund wurden zweijährige Untersuchungen mit dem Ziel angestellt, die Eignung von Grünlandaufwüchsen mit dem Bestandesbildner *Equisetum palustre* für Verfahren der Biomethanisierung unter besonderer Berücksichtigung des Wirkstoffs ‚Palustrin‘ zu ermitteln.

2. Material und Methoden

Die geprüften Substrate und deren Zusammensetzung sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Zusammensetzung (Mischungsanteile in %_m) und Palustringehalte 2010 (mg je kg TM) der Prüfsubstrate

Prüfvariante	<i>E. palustre</i> L.	Begleit- vegetation	<i>E. arvense</i> L.	Palustringehalt Frischsubstrat	Palustringehalt Silage
V 1	100	0	0	1774,4	2359,6
V 2	80	20	0	1011,8	1462,3
V 3	50	50	0	400,9	821,7
V 4	20	80	0	232,9	209,2
V 5	10	90	0	86,1	116,5
V 6	0	100	0	38,6	24,0
V 7	0	0	100	15,9	-

Das Pflanzenmaterial wurde auf Feuchtgrünlandbeständen der Unterelbe in zwei aufeinander folgenden Versuchsjahren geborgen, botanisiert und nach der Art *Equisetum palustre* sowie der Begleitvegetation separiert. Eine aliquote Teilmenge jeder Fraktion wurde frisch eingefroren, die andere siliert.

Um etwaige inhibitorische Effekte des Spermidin-Alkaloids Palustrin auf die Methanogenese von denen der sonstigen Substrateigenschaften trennen zu können, fungierte der nach LIEBENOW und LIEBENOW (1981) als ungiftig geltende Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*), im gleichen Entwicklungsstadium geerntet, als Referenz.

Die Analyse des Palustringehaltes erfolgte mittels HPLC/MS-Kopplung. Für die Massenspektroskopie wurde das Esquire3000® von Bruker mit Ionenfalle und APCI-Quelle eingesetzt.

Die Gäreignung der Substrate ist mit einer diskontinuierlichen Nassvergärungs-Batchanlage (siehe Abb. 1) unter mesophilen Temperaturbedingungen nach VDI-Richtlinie 4630 bei einer Verweilzeit von 34 Tagen geprüft worden.

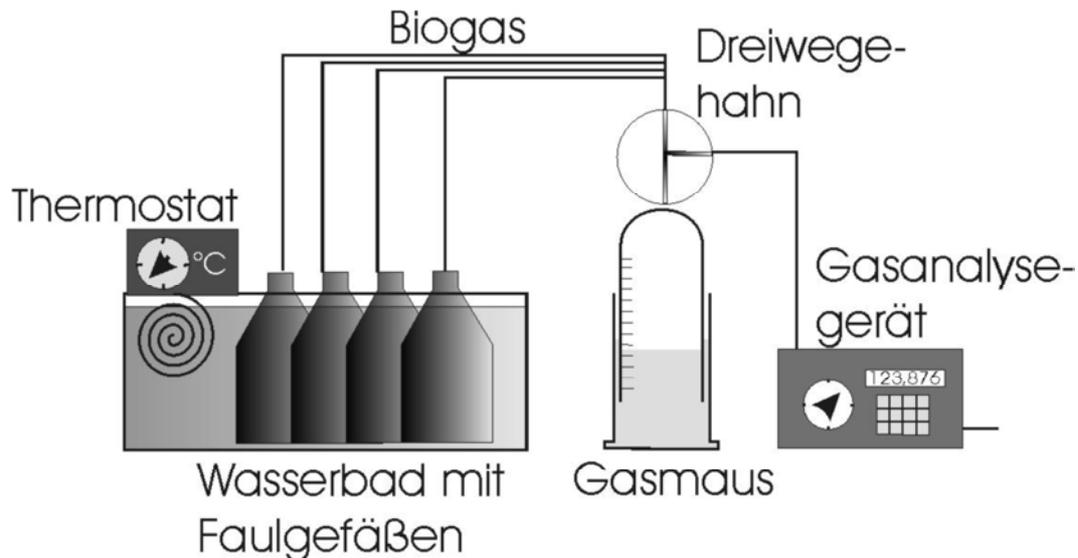


Abb. 1: Schematische Darstellung des Minibatch-Versuchsaufbaus

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Biogasertrag je kg organischer Substanz sowie der Gehalt an Methan im Biogas wurden sowohl von der botanischen Zusammensetzung des Substrats als auch vom Jahr der Substratbergung signifikant beeinflusst (siehe Tab. 2). Ob das geprüfte Pflanzenmaterial frisch oder siliert fermentiert wurde, war hingegen von geringer Relevanz.

Tab. 2: Einflüsse der Prüffaktoren auf substratspezifische Kenngrößen der Methanogenese (Ergebnisse des F-Tests, Haupteffekte der Varianzanalyse, GLM)

	Art des Prüfsubstrats (V1 - V7)	Jahr der Substratbergung	Substratbeschaffenheit (frisch bzw. siliert)
Biogasertrag (NL je kg oTM)	< 0,01 **	< 0,01 **	0,11 n.s.
Methangehalt (in % Vol BG)	< 0,01 **	0,001 ***	0,65 n.s.

Die Methanerträge der Prüfsubstrate sind in Abb. 2 dargestellt. Beide Reinsubstrate der Equisetum-Arten wiesen vergleichbare Methanausbeuten auf, welche denen der grasdominierten Begleitvegetation (V6) sogar überlegen waren. Die Mischvarianten V2-V5 unterscheiden sich in den mittleren Methanerträgen nicht signifikant und bewegen sich erwartungsgemäß zwischen den Mischungskomponenten V1 und V6.

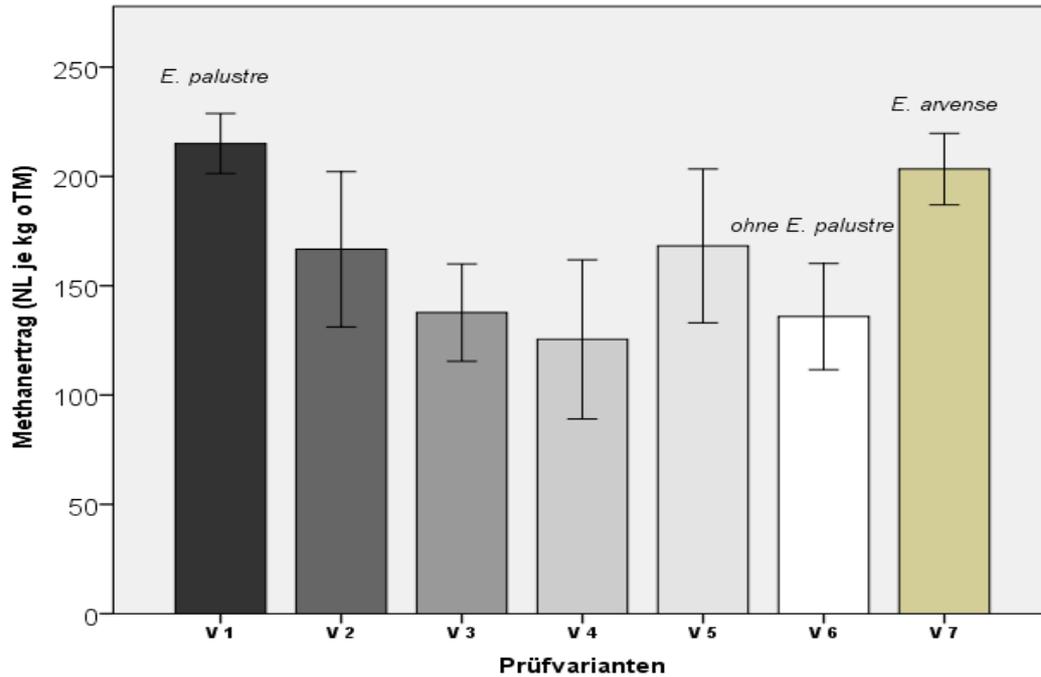


Abb. 2: Methanerträge (Normliter je kg oTM) der Prüfsubstrate (n=4; Fehlerbalken=SE)

Die Palustringehalte wiesen eine sehr starke jahresspezifische Variation auf, so dass Konzentrationen über 150 mg Palustrin je kg Substrat-TM dem zweiten Beprobungsjahr vorbehalten blieben. Es besteht keine Beziehung zwischen dem Palustringehalt und den Biogaserträgen (Abb. 3), so dass negative Beeinflussungen der Methanogenese durch diesen sekundären Inhaltsstoff auszuschliessen sind. Dafür spricht auch das vergleichbare Niveau des Methanertrages beider Schachtelhalmmarten bei höchst unterschiedlichem Wirkstoffgehalt.

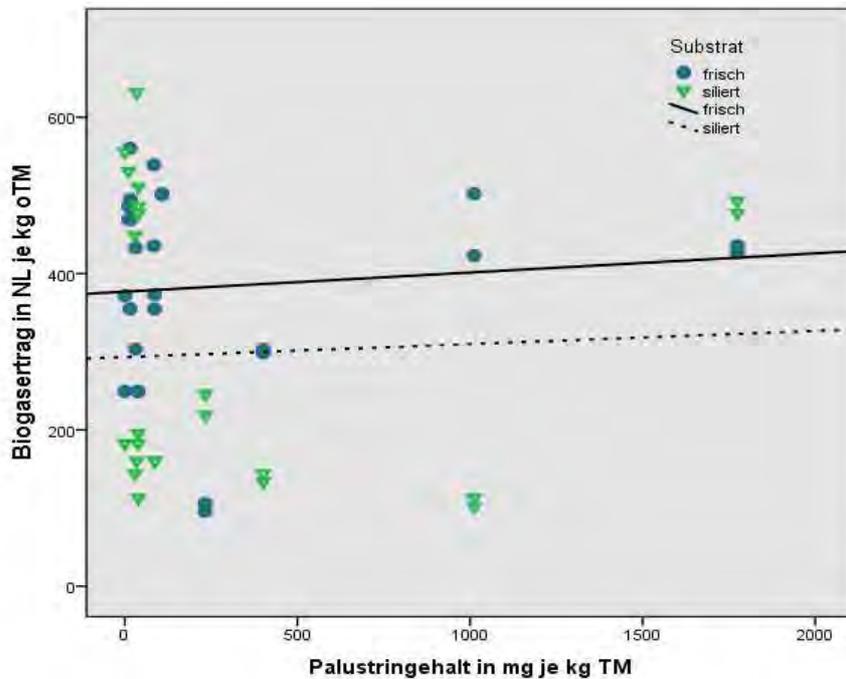


Abb. 3: Biogasertrag (Normliter je kg oTM) der Prüfsubstrate vs. Palustringehalt (mg je kg TM)

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt, dass bei der Verwendung von stark mit Duwock besetzten Feuchtgrünland-Aufwüchsen für die Biogaserzeugung keine negativen Effekte auf das Prozessgeschehen durch den sekundären Inhaltsstoff ‚Palustrin‘ zu befürchten sind. Das Palustrin wird im Zuge der Methanogenese nahezu vollständig abgebaut (Gehalte < 5 mg/kg Gärrest). Dem Nachteil relativ hoher Siliziumgehalte der Schachtelhalmarten steht der Vorteil vergleichsweise geringer Rohfasergehalte und damit hoher Methanausbeuten der organischen TM gegenüber.

Literatur

CHEN, Y., CHENG J.J. und CREAMER, K.S. (2008): Inhibition of anaerobic digestion process: A review. In: *Bioresource Technology* 99, 4044–4064, 93-97.

LIEBENOW, H. und LIEBENOW, K. (1981): *Giftpflanzen*. 2. Auflage, Fischer Verlag. Jena, 1981.

Methane yield - a new DLG-test scheme for silage additives

Hansjoerg Nussbaum¹, Walter Staudacher²

¹ AGRICULTURAL CENTRE FOR CATTLE PRODUCTION, GRASSLAND MANAGEMENT, DAIRY MANAGEMENT, WILDLIFE AND FISHERIES BADEN-WUERTTEMBERG, Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf, Germany, hansjoerg.nussbaum@lazbw.bwl.de

² DLG E.V. GERMAN AGRICULTURAL SOCIETY, ESCHBORNER LANDSTRASSE 122, 60489 FRANKFURT, GERMANY, w.staudacher@dlg.org

1. Introduction

Biogas production based on energy crops is very common in Germany. The degradation of organic matter in the biogas fermenters (“concrete cows”) is often compared with the processes in the rumen, but there are important differences. In practice silage additives are offered to improve the biogas yield (Banemann et al. 2010). The question is whether ensiling with silage additives and producing different fermentation pathways (homo- or heterofermentative) affects fermentation losses, aerobic stability, and therefore the specific and absolute methane yield and chemical kinetics in the biogas fermenter. The DLG seal of quality for silage additives has been providing impartial advice on using such additives for feed crops for about 30 years now. The new possibilities of using silage additives in biogas production make it expedient to develop a reasonable test scheme that can verify their promised “improvements in biogas yield”. The new test scheme should focus on all processes – from harvesting energy crops, through silage fermentation, including all losses (McDonald et al. 1991) with or without air stress (Honig 1990), to the processes in the biogas reactor. Similarly, the test scheme should be able to work with small quantities of silage in order to run the silage tests on a laboratory scale.

2. Material and methods

In biogas fermenters acetic acid is one of the precursors of methane. Therefore it was first tested whether the specific methane yields produced from the main fermentation products of silage differ significantly. In that case, the biogas potential of silages could in principle be estimated from their contents of fermentation products. A possibly different biogas potential of lactic acid compared with acetic acid would be most relevant, as Nussbaum (2009) found that significant differences exist between most fermentation products with the exception of lactic acid and acetic acid. A repetition of these investigations (Nussbaum, 2010, unpublished), revealed the same ranking of the biogas potential, for instance lactic acid < butyric acid < 1,2-propanediol << ethanol. Similar results were published by Pieper and Korn (2010). From these findings it can be concluded that a testing system for silage additives must in principle measure the respective yields of methane from the individual silages, which have received different treatments. The evaluation of additives with respect to gas yield must include complete accounting with all losses, from the crop at ensiling up to the silages prepared under optimal as well as suboptimal conditions.

The Hohenheim Biogas Yield Test (HBT) was developed at the University of Hohenheim (Stuttgart, Germany) for measuring biogas yield at different steps of the pro-

cess. Typically 400 mg dried silage are incubated together with 30 grams of biogas slurry over 35 days at 37 °C (Helffrich and Oechsner 2003). However, this approach of analyzing dry substrates does not consider the losses of volatile substances occurring during the drying procedure of silage samples. The accompanying losses must be taken into account because considerable amounts of alcohols, (e.g. 1,2-propanediol, ethanol) are produced during ensiling, especially if heterofermentative lactic acid bacteria are used. Consequently it was tested whether the HBT method is suitable for non-dried silages also. This required homogenizing of the silage without heating up the sample. A hand-operated meat mincer was used for this purpose and 1200 mg of the resulting homogenates were incubated in triplicate for the HBT. The results (Nussbaum, 2011, unpublished) showed that the HBT also works successfully with fresh silage and mirrors the effects of silage treatments. However, only some of them were statistically significant. This was attributed to the insufficient homogeneity of the sample, which caused too large variations in gas yield. This problem was overcome by increasing the initial size of the sample from 50 to 100 g FM and homogenizing in a special blender (Thermomix TM 31, www.thermomix.de). This equipment disintegrates all types of deep-frozen silages (-18 °C) within 20 seconds without increasing their temperature above 0 °C. Four replicates of the thoroughly mixed homogenate were incubated for the HBT. The results of the test are presented in a separate contribution (Nussbaum, 2012).

3. Results and discussion

Figure 1 shows the newly developed testing scheme. It allows testing of quite different silage additives under different ensiling conditions (with or without air challenge treatment), which can be completed by determining aerobic instability. Silages can be prepared routinely on laboratory scale (Pflaum et al. 1996). Losses are recorded by weighing. Stability tests require periodic temperature measurements. The correction of the dry matter content for volatile substances is highly important (Weissbach, 2008). Methane yields can be recorded by batch tests such as the HBT. This requires proper homogenization of the silages without excessive heating of the previously frozen material, which can be reliably achieved with the Thermomix TM31.

The accounting for the evaluation of silage additives includes losses as well as specific gas yields. The benchmark is the methane yield of the material prior to ensiling.

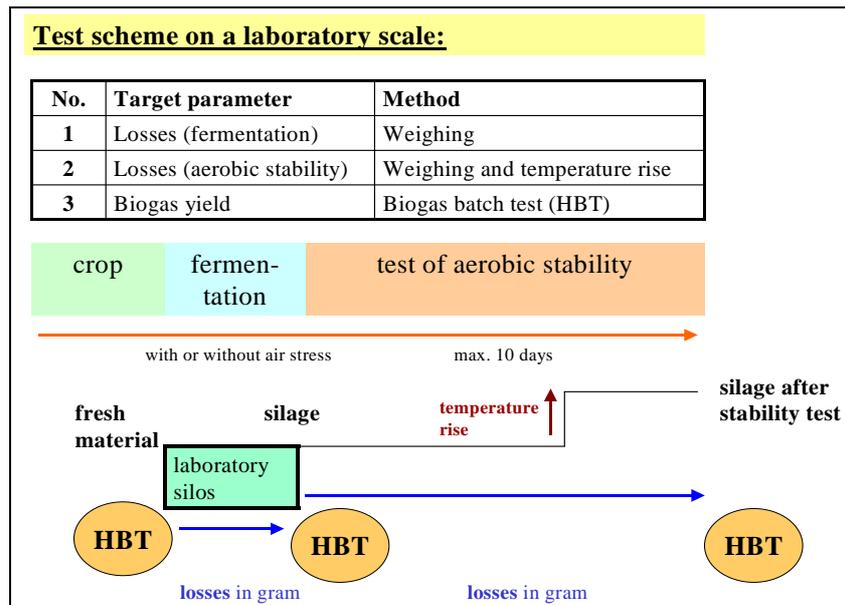


Figure 1. Test scheme over time from harvest to feed out period, showing the target parameters and test methods.

4. Conclusions

A new testing scheme to predict methane yield of silages has been established. The new test scheme includes a procedure working directly with fresh silage to avoid the neglect of volatile fatty acids and alcohols during the drying process of samples. Novel methods for processing and homogenizing small quantities of frozen silage samples (50 to 100 g) were developed. The new test will be operated from 2012.

References

- Banemann, D., Demmig, C., Nelles, M. Bock, P. & Mayrhuber, E. 2010. Silages as feedstock for Biogas: Novel perspectives for silage additives. Proceedings of the 14th International Symposium of Forage Conservation, 17-19th March, 2010 in Brno, MU Brno, CZ: 114-116.
- Helffrich, D., & Oechsner, H. 2003. The Hohenheim Biogas Yield Test. *Agric. Engineering* 58: 148-149.
- Honig, H. 1990. Evaluation of the aerobic stability. Proceedings of the EUROBAC Conference, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Sweden, special issue. 76-82.
- McDonald, P., Henderson, N. & Heron, S. 1991. *The Biochemistry of silage*. Chalcombe Publications, 2nd Ed, Academic Press London and New York. 237-249.
- Nussbaum, H. 2009. Effects of different fermentation products on dynamism and yield of biogas. Proceedings of the 15th international silage conference, 27-29th July in Madison, Wisconsin, USA: 435 - 436.
- Nussbaum, H. 2012. Effects of silage additives based on homo- or heterofermentative lactic acid bacteria on methane yields in the biogas processing. Proceedings of the 16th international silage conference, 02-04th July in Hämeenlinna, Finland.
- Pieper, B. & Korn, U. 2010. Influence of lactic and acetic acid in corn silage on biogas production and conclusions for the application of silage additives. In: Proceedings of the 14th International Symposium of Forage Conservation, 17-19th March, 2010 in Brno, MU Brno: 117-118.
- Pflaum, J., Gartner, L., Demarquilly, C., Andrieu, J.P., Honig, H., Staudacher, W. & Wyss, U. 1996. Silage Additive Testing – Comparison of the German DLG and the French INRA Schemes. *Das Wirtschaftseigene Futter (Forage)* 42: 217-248.
- Weissbach, F. 2008: Trockensubstanz-Korrektur auf flüchtige Gärprodukte - Den Trockensubstanzgehalt von Biogassilagen vollständig erfassen. *Zeitschrift Mais* 03/2008: 104-105. (Correction for volatile fermentation solids - Capture the dry matter content of biogas silage fully).

Einfluss der Biodiversität auf die in Batchversuchen ermittelten Methanausbeuten von Silagen extensiver Grünlandgesellschaften

B. Reddersen, T. Fricke, M. Wachendorf

UNIVERSITÄT KASSEL, FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE
ROHSTOFFE,
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen, DE, b.reddersen@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Grünlandbiomasse wird bereits dort zur Biogaserzeugung eingesetzt wo Grünlandschnitt standortbedingt ohnehin anfällt und sich eine Biogasanlage in erreichbarer Nähe befindet. Am erfolgreichsten wurde es bisher als Kosubstrat neben Silomais und Gülle zur Biogaserzeugung genutzt. Die Kriterien zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage stellen hohe Ansprüche an die Qualität der Substrate im Bezug auf Vergärbarkeit und Fasergehalt. Eine optimale Artenzusammensetzung des Grünlandbestandes für den maximalen Methanertrag sowie eine frühzeitige Bestimmung der Qualitätsparameter über NIR-Spektroskopie ist für eine Optimierung der Anlagensteuerung z.B. über eine geeignete Wahl der Komponenten daher anzustreben. Da bisher noch keine systematische Betrachtung der Beziehungen zwischen den spektralen Signaturen von Silagen botanisch unterschiedlich zusammengesetzter Grünlandbestände und deren Methanbildung existiert, soll diese neben der Betrachtung von Einflüssen der Biodiversität auf die Methanbildung im Rahmen dieses Beitrags erfolgen.

2. Material und Methoden

Das Ausgangsmaterial für die Gärversuche und die Kalibrationen bilden Silagen aus dem zweischürigen Jena-Experiment der Jahre 2008 und 2009. 60 Arten aus der Pflanzengemeinschaft der Molinio-Arrhenatheretea werden hierbei Parzellenweise über einen Gradienten von 1, 2, 4, 8, 16 und 60 Arten in unterschiedlichen Zusammensetzungen aus vier anhand von funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine und große Kräuter) kombiniert. Die Parzellen werden zweimal im Jahr gejätet um die angesäte Artenzusammensetzung beizubehalten. Das komplette Versuchsdesign wird in Roscher et al. (2004) beschrieben.

Zu zwei Terminen in den Jahren 2008 und 2009, Ende Mai und Ende August, wurde der Bestand der 82 Parzellen des Hauptexperiments von 3x3m in 5 cm Höhe über dem Boden geerntet.

300 g Biomasse aus jeder Parzelle wurden für weitere Laboranalysen getrocknet (70°, 48h). Zusätzliche Frischmasseproben wurden auf 1 cm gehäckselt und für die Gärversuche pro Plot in 2L Glasbehältern siliert.

Die Biomasse wurde über die Summe von drei zufällig verteilten 20x50 cm Subplots ermittelt und nach Zielarten, Invasionsarten und totem Pflanzenmaterial separiert und ausgewogen.

Die Spektralen Signaturen der Silagen wurden mit einem XDS Rapid Content Analyser NIRS System (FOSS NIRSystems, Hillerød, Dänemark) aufgenommen.

Zur Ermittlung der Methanausbeuten und Referenzwerte sowie dem Erstellen einer Kalibration der Nahinfrarotspektren wurden jeweils 100 Proben pro Jahr anhand spektraler Parameter der getrockneten Proben ausgewählt. Der resultierende Probensatz verteilte sich gleichmäßig über die Diversitätsstufen 1, 2, 4, 6 und 16 und alle Funktionellen Gruppen. Aufgrund des Designs des Jena-Experiments sind Proben aus 60-Arten Parzellen in geringerer Anzahl vertreten.

Die Gärversuche wurden in Doppelbestimmung in 20 L Plastikfermentern bei einer konstanten Temperatur von 37°C durchgeführt. 400 g Frischmasse der Silage wurden mit 8 kg Impfmateriale von ausgegorener Rindergülle und mit 4kg Wasser vermischt und für die Dauer von 35 Tagen bei regelmäßiger Durchmischung vergoren. Das produzierte Biogas wurde täglich in Aluminium/Plastik-Beuteln geerntet und in einem Trommelgaszähler (TGL, Ritter Ltd.) gemessen. Der im Biogas enthaltene Methananteil wurde durch einen programmierbaren Gasmesser (LFG 20, Bernt Ltd) bestimmt.

Die Kalibration der Methanausbeuten wurde mit dem WinISI Kalibrations Software Paket (Infrasoft International, Port Matilda, Pennsylvania USA) durchgeführt. Zur Ermittlung des optimalen Kalibrationsergebnisses wurde über die erste, zweite und dritte Ableitung des gesamten aufgenommenen Spektralbereiches von 400 bis 2500 Nm kalibriert. Eine Feinabstimmung wurde über unterschiedliche Einstellungen für die Ansatzpunkte für die Ableitung und die Glättung der Spektren vorgenommen. Als Güteparameter für die Kalibration wurde neben dem R^2 der Kalibration der Quotient aus der Standardabweichung der Referenzwerte und dem Standardfehler der Kreuzvalidation (RPD) berechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Ein Vergleich der Methanausbeuten mit der Artenzahl der jeweiligen Parzelle im Mittel der beiden untersuchten Jahre zeigt keinen signifikanten Einfluss der Artenzahl auf die Methanausbeute (Abb. 1a), hier dominieren die unterschiedlichen Entwicklungsstadien zwischen dem ersten und dem zweiten Aufwuchs.

Durch eine erhöhte Biomasseproduktion wird jedoch auf den artenreichen Parzellen infolge von Komplementäreffekten zwischen den Arten ein höherer flächenspezifischer Methanertrag erzielt, als auf artenarmen Standorten (Abb. 1b). Der Einfluss der Artenzahl auf die Biomasseproduktion im Rahmen des Jena-Experimentes wird ausführlich in Khalsa et al 2012 diskutiert.

Betrachtet man nur die Parzellen mit einer funktionellen Gruppe so sind im ersten Aufwuchs ebenfalls keine Differenzen zwischen den Methanausbeuten zu erkennen. Im zweiten Aufwuchs bilden sich jedoch Unterschiede zwischen Gräsern und Leguminosen auf der einen Seite mit Methanausbeuten zwischen 250 und 300 N_L/kg oTM und den Kräutern auf der anderen Seite mit Methanausbeuten zwischen 200 und 250 N_L/kg oTM heraus (Abb. 2).

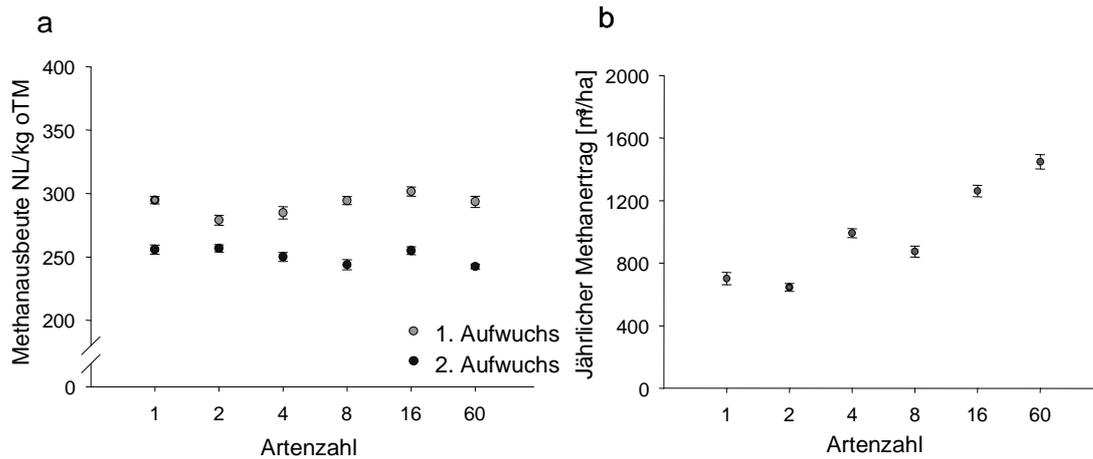


Abb. 1: Einfluss der Artenzahl auf die in Batchversuchen ermittelte Methanausbeute. Mittel aus zwei Jahren, unterteilt nach 1. und 2. Aufwuchs in NL/kg oTM (a) und dargestellt als jährlicher Methanertrag [m³/ha] (b)

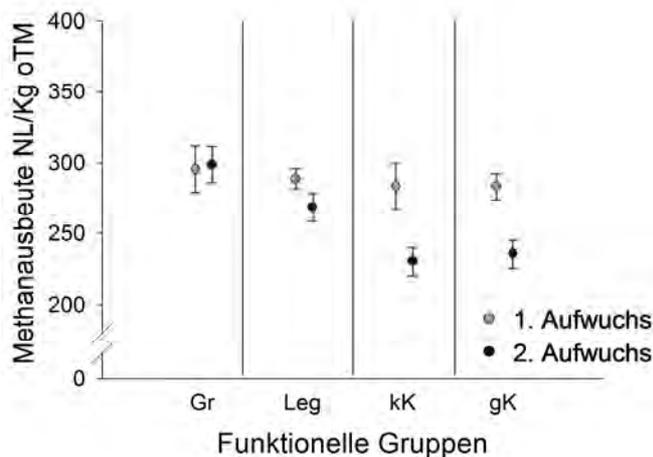


Abb. 2: Einfluss der funktionellen Gruppen auf die in Batchversuchen ermittelten Methanausbeuten. Mittel aus zwei Jahren, unterteilt nach 1. und 2. Aufwuchs. Gr=Gräser, kK=kleine Kräuter, gK=große Kräuter, Leg=Leguminosen

Das optimale Ergebnis der Kalibrationen wurde mit der 3. Ableitung über 10 Punkte mit einer Glättung der Spektren über 4 Wellenlängen erreicht. Mit einem R^2 von 0.47 und einem RPD von 1.2 waren die Kalibrationsgüten der Methanausbeuten über Nahinfrarotspektroskopie nach üblichen Kriterien (r^2 und RPD Grenzwerte nach Williams und Norris 2001) nicht akzeptabel. Für eine gute Vorhersagequalität werden RPD-Werte von >3 und ein R^2 von >0.9 angenommen. Die erreichten Güten reichen höchstens für eine Differenzierung von hohen und tiefen Werten aus. Gründe hierfür könnten im geringen Standardisierungsgrad des Ausgangsmaterials mit zu großen Unterschieden in Größe, Struktur und Feuchtegehalt gelegen haben.

4. Schlussfolgerungen

Auch wenn die Diversität der Bestandesstruktur verglichen mit den Aufwüchsen keinen signifikanten Einfluss auf die Methanausbeuten zu haben scheinen, so fördert eine erhöhte Diversität des Grünlandes durch Synergieeffekte eine erhöhte Biomasseproduktion und führt damit zu einem erhöhten Flächen-Methanertrag.

In diesem Versuchsdesign war es nicht möglich eine brauchbare Kalibration zu erstellen, ein höherer Standardisierungsgrad der Proben ist hier anzuraten um die Kalibrationsgüte zu verbessern.

Literatur

- KHALSA J., FRICKE T., WEISSER W. W., WEIGELT A., WACHENDORF M. (2012): Effects of functional groups and species richness on biomass constituents relevant for combustion: results from a grassland diversity experiment. *Grass and Forage Science*, doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00884.x
- ROSCHER, C., SCHUMACHER, J., BAADE, J., WILCKE, W., GLEIXNER, G., WEISSER, W.W., SCHMID, B., SCHULZE, E.-D., 2004. The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5 (2), 107–121.
- WILLIAMS, P., NORRIS, K., 2001. Near-infrared technology in the agricultural and food industries, 2nd ed. *American Association of Cereal Chemists*, St. Paul, Minn, 296 s.

Optimierung der nachhaltigen Biomassebereitstellung von repräsentativen Dauergrünlandtypen für die Biogasproduktion

Florian Schmidt, Dr. Katja Gödeke, Dr. Hans Hochberg

THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT,
Naumburger Straße 98, 07743 Jena
florian.schmidt@tll.thueringen.de

1. Einleitung und Problemstellung

Das Dauergrünland hat einen nennenswerten Anteil an den landwirtschaftlichen Biomassepotenzialen (Prochnow et al. 2007, Rösch et al. 2007, Thrän et al. 2005). Forschungsarbeiten konzentrieren sich gegenwärtig jedoch auf den Energiepflanzenanbau, während zum Dauergrünland im Vergleich dazu bisher wenige und weitgehend isolierte Forschungsarbeiten stattfinden. Eine systematische und koordinierte Bearbeitung der Thematik mit bundesweiter Einbeziehung repräsentativer Dauergrünlandpflanzengesellschaften und unter Verwendung einheitlicher Methoden ist bisher nicht erfolgt. Es fehlen fundierte nationale und bis auf Ausnahmen regionale Hochrechnungen zum Anteil der energetisch verwertbaren Grünlandaufwüchse sowie parallele Untersuchungen der Biomasseerträge und -qualitäten von repräsentativen Grünlandstandorten bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität und darauf aufbauend, umfassende Bewertungen zur Ökonomie und zu den Umweltwirkungen. Das Vorhaben „GNUT-Biogas“ soll somit dringend notwendige Kenntnisse bereitstellen, um Qualitäten und energetische Potenziale des Dauergrünlandes zu erschließen und Strategien erarbeiten, wie und in welchen Mengen Biomasse des produktiven Dauergrünlands für die Verwertungsrichtung Biogasproduktion genutzt werden kann. Die Bewirtschaftungs- und Verwertungsstrategien müssen dabei ökologischen und ökonomischen Anforderungen gleichermaßen gerecht werden und sind anhand entsprechender Kriterien zu bewerten.

2. Material und Methoden

Sieben der untersuchten Dauergrünlandpflanzengesellschaften sind in Tab. 3 beschrieben und in zu den entsprechenden Grünlandanbaugesellschaften zugeordnet dargestellt.

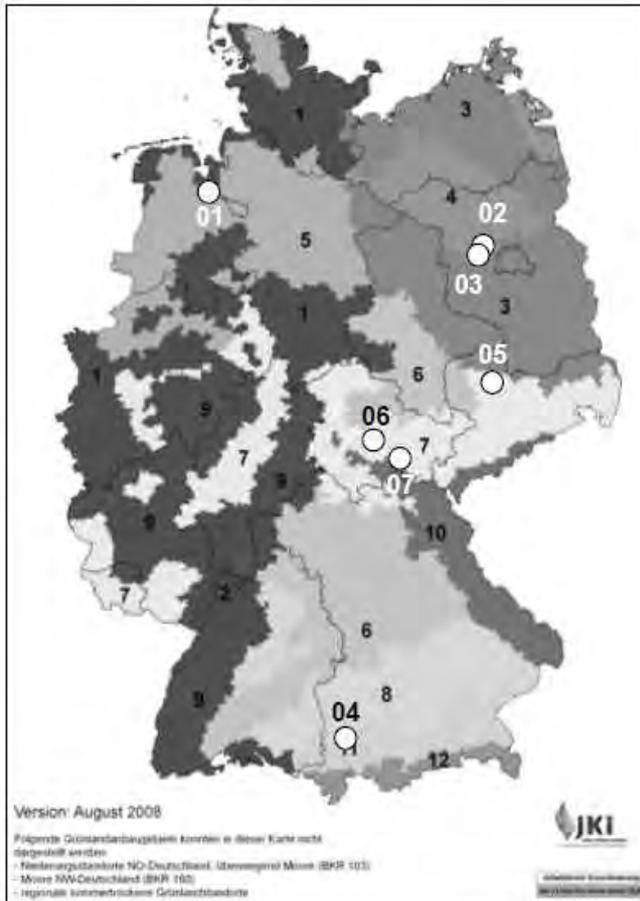
An diesen Dauergrünlandpflanzengesellschaften werden vier verschiedene Bewirtschaftungsvarianten hinsichtlich Biomasseertrag und -qualität untersucht. Bei den Bewirtschaftungsvarianten handelt es sich um:

- (1) standorttypische Intensität (Futter für Milchvieh) – nachhaltig optimal
 - 4 bis 5 Schnitte pro Jahr
 - die ersten 3 Schnitte erfolgen bis etwa Mitte Juli
 - jeder Aufwuchs wird im vegetativen Zustand geerntet
 - N-Düngung entspricht dem standortangepasstem Optimum für die auch unter Praxisbedingungen gedüngten Aufwüchse
- (2) Qualitätsfutterbereitstellung mit reduzierter N-Düngung und weniger Schnitten
 - 3 bis maximal 4 Schnitte pro Jahr
 - 1. bis 3. Schnitt erfolgen bis Mitte Juli

- N-Düngung zum 1. und 2. (sowie 3.) Aufwuchs nach dem standortangepasstem Optimum für die auch unter Praxisbedingungen gedüngten Aufwüchse
- (3) Nutzung des Standortpotenzials
 - 3 bis maximal 4 Schnitte pro Jahr
 - Erntetermin des 1. und 2. Aufwuchs im Übergang zur generativen Entwicklung des/der Hauptbestandsbildner
 - ab dem 3. Aufwuchs Nutzung in der Mähreife
 - reduzierte N-Düngung zum 1. und 2. Aufwuchs
- (4) Bestandespflege
 - 3 bis maximal 4 Schnitte pro Jahr
 - 1. Schnitt erfolgt sehr früh (standorttypischer Weidebeginn), 2. Schnitt erfolgt nach Ende der Blüte des/der Hauptbestandsbildner
 - ab dem 3. Aufwuchs erfolgt Nutzung in der Mähreife
 - standort- und nutzungsangepasste N-Düngung
 - P- und K-Düngung orientiert sich am Entzug

Tab. 3: Dauergrünland-Pflanzengesellschaften

Standort	Naturraum	Grünland-Pflanzengesellschaft	Artenzahl
Weidelgras-Weißkleeweiden (<i>Lolio-Cynosuretum</i>)			
Niedersachsen	Ammerland	artenarm; ohne Leguminosen	7
Brandenburg	Havelland, Niedermoor	artenreich; mit <i>Elymus repens</i>	31
Brandenburg	Havelland, Talsand	artenreich; typische Ausbildungsform	32
Bayern	Allgäu	artenreich, typische Ausbildungsform	24
Flachland- und Bergwiesen			
Wiesenfuchsschwanzwiese			
Sachsen	Mulde-Aue	(<i>Alopecuretum pratensis</i>) zeitweise überstaut	25
Glatthaferwiese			
Thüringen	Muschelkalk	(<i>Arrhenatheretum elatioris</i>) typische Ausbildungsform	34
Goldhaferwiese			
Thüringen	Schiefergebirge	(<i>Trisetetum flavescens</i>) ohne <i>Geranium sylvaticum</i>	31



- 1 bessere Standorte Nordwest
- 2 wärmere Standorte Südwest
- 3 Niederungsstandorte Nordost (incl. Auen)
- 4 trockene Standorte Nordost
- 5 leichte Standorte Nordwest
- 6 sommertrockene Lagen
- 7 günstige Übergangslagen
- 8 Hügelländer Süd
- 9 Mittelgebirgslagen West
- 10 Mittelgebirgslagen Ost
- 11 Voralpengebiet
- 12 Alpengebiet

Zuordnung der Pflanzengesellschaften zu den Anbaugesellschaften

- 01 – Anbaugesellschaft 5
- 02, 03 – Anbaugesellschaft 4
- 04 – Anbaugesellschaft 11
- 05, 06 – Anbaugesellschaft 7
- 07 – Anbaugesellschaft 10

Abb. 4: Karte der Grünlandanbaugesellschaften mit den eingezeichneten GNUT-Biogas-Standorten

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine in vierfacher Wiederholung angelegte, vollständig randomisierte Blockanlage. Die Versuche werden durch die entsprechenden Landeseinrichtungen der Länder Bayern, Niedersachsen, Sachsen und Thüringen sowie durch den Deutschen Grünlandverband in Brandenburg durchgeführt. Seit dem 2. Versuchsjahr (2011) werden von der geernteten Biomasse Proben angewelkt, einsiliert und nach 90 Tagen Silierung in Batchtests auf ihre Biogas- und Methanausbeuten untersucht. Anschließend erfolgt eine ökonomische Bewertung der gesamten Kette der Biomassebereitstellung und -verwertung einschließlich einer Bewertung der Umweltwirkungen der Bereitstellungs- und Verwertungsstrategien.

Die Analysen von Biomasseproben erfolgen einheitlich an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena und die Durchführung der Batchtests zur Bestimmung der Biogas- und Methanausbeuten erfolgt am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. in Zusammenarbeit mit der Bioenergieberatung Bornim.

3. Erste Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 5 sind die Trockenmasseerträge der ersten beiden Versuchsjahre dargestellt. Nach diesen ersten zwei Jahren konnte sich noch keine Variante als alleinige, im Trockenmasseertrag überlegene Variante herausstellen.

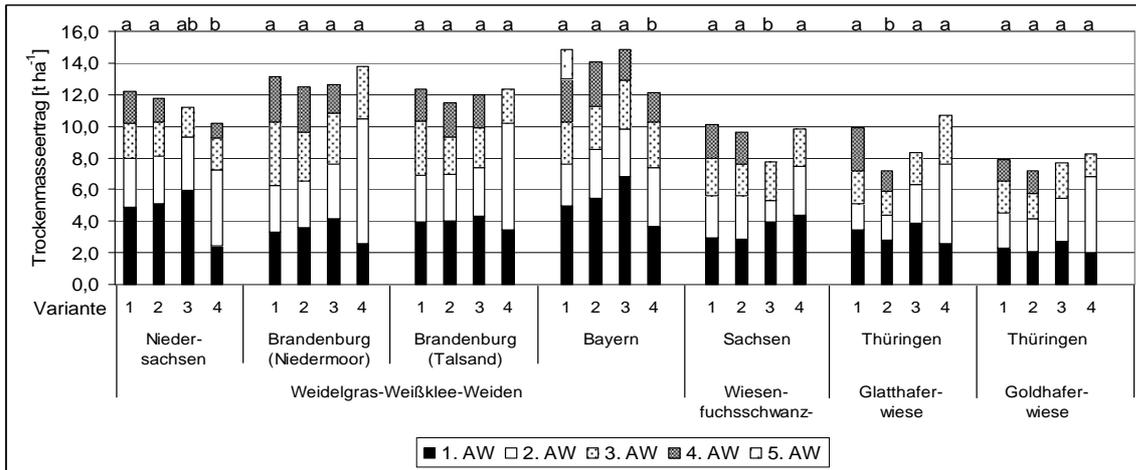


Abb. 5: Trockenmasseerträge der ersten beiden Versuchsjahre (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede bei $\alpha \leq 0,05$ innerhalb der Pflanzengesellschaften am Standort)

Es deutet sich allerdings an, dass mit Ausnahme der Weidelgras-Weißklee-Weiden in Niedersachsen und Bayern an allen anderen Standorten bei den Varianten 1 und 4 die höchsten TM-Erträge gebildet werden. Als Varianten mit den signifikant niedrigsten TM-Erträgen konnten bisher die Varianten 4 bei den Weidelgras-Weißklee-Weiden in Niedersachsen und Bayern sowie die Variante 3 bei der Wiesenfuchsschwanzwiese und die Variante 2 bei der Glatthaferwiese identifiziert werden. Den höchsten TM-Ertrag eines einzelnen Aufwuchses hat der 2. Aufwuchs der 4. Varianten infolge der langen Wuchszeit. Dadurch können trotz eines Aufwuchses weniger, annähernd gleiche TM-Erträge wie bei den 1. Varianten erreicht werden. Allerdings haben die 2. Aufwüchse der 4. Varianten infolge der längeren Wuchszeit wesentlich höhere Rohfaser-, niedrigere Rohprotein- sowie höhere Lignin- und ADF-Gehalte, welche negativ mit den Methan- (HERRMANN et al., 2010) und Biogasausbeuten korrelieren (HEIERMANN et al., 2009).

In Abb. 6 sind die ersten Ergebnisse der Biogas- und Methanausbeuten als Orientierung dargestellt. Infolge bisher nur einjähriger Ergebnisse wurde auf die Darstellung der Biogas- und Methanausbeute pro Aufwuchs, Variante und Standort verzichtet. Es kann aber gezeigt werden, dass die Biogasausbeuten der untersuchten Pflanzengesellschaften in einer Spanne zwischen 484 und 672 NI kg⁻¹ organische TM sowie die Methanausbeuten zwischen 270 und 362 NI kg⁻¹ organische TM in Abhängigkeit der Variante, des Standorts und des Aufwuchses liegen.

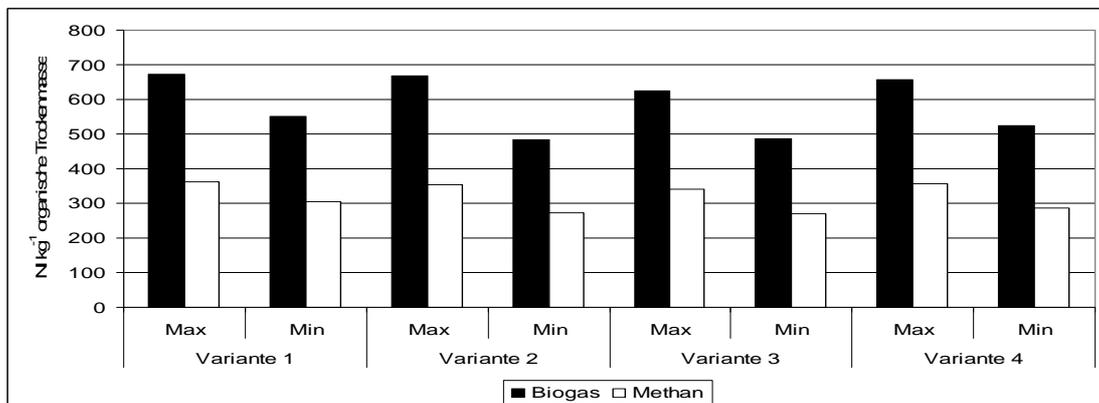


Abb. 6: Einjährige Ergebnisse der Biogas- und Methanausbeute (in NI kg⁻¹ organische TM)

4. Schlussfolgerungen

Im Rahmen von GNUT-Biogas werden Dauergrünlandpflanzengesellschaften unterschiedlicher natürlicher Standortbedingungen untersucht. Die einbezogenen Weidelgras-Weißkleeweidens unterscheiden sich in Abhängigkeit ihres Standortes teils erheblich in Ausprägung und Artenzahl. Die endgültige Beurteilung der Varianten und Aufwüchse für die jeweiligen Standorte kann erst erfolgen, wenn weitere Ergebnisse zur Bestandespflege, Ökonomie und Ökologie vorliegen. Dennoch zeigen die bisherigen Ergebnisse, welche Biomassepotenziale in Abhängigkeit der Bewirtschaftung bei den jeweiligen Pflanzengesellschaften erreicht und welche Biogas- und Methan ausbeuten als eine erste Orientierung bei diesen Pflanzengesellschaften erwartet werden können. Gesicherte, aussagekräftige Methanhektarerträge in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsvariante gilt es im weiteren Verlauf der Projektphase zu erheben und im Zusammenhang mit der Verwertbarkeit der Biomasse in Biogasanlagen zu bewerten.

Das Projekt GNUT-Biogas wird durch das BMELV über die FNR (FKZ 2200-7509) gefördert.

Literatur

- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; 2010, Silierbarkeit und Methanbildungspotentiale von Energiepflanzen. 2. Symposium Energiepflanzen 2009, 17./18. November 2009 in Berlin. In: Gülzower Fachgespräche Band 34, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, S. 147-156.
- HEIERMANN, M.; IDLER, C.; HERRMANN, C.; SCHOLZ, V.; 2009, „Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute in Labor und in der Praxis“ Abschlussbericht im Rahmen des Verbundvorhabens: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, [http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Silierung_Methan ausbeuten/ Weiterfuehrende_Informationen/schlussbericht_tp4_eva1.pdf](http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Themen/Silierung_Methan ausbeuten/Weiterfuehrende_Informationen/schlussbericht_tp4_eva1.pdf)
- PROCHNOW, A.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; LINKE, B.; MÄHNERT, M.; PLÖCHL, M. (2007): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. in: Gas aus Gras und was noch? Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, Berlin, H. 1/2007, S. 11-22
- RÖSCH, C. ; RAAB, K.; SKARKA, J.; STELZER, V. ; 2007, Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung?, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, unter www.ml.r.baden-wuerttemberg.de/mlr/startseite/energie_aus_dem_gruenland.pdf
- THRÄN ET AL.; 2005, Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext : Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern / Institut für Energetik und Umwelt. Daniela Thrän. - Leipzig : IE, 2005. - XVIII, 351 S., EN-2661-17

Modellierung der Biomasseproduktion von Extensivgrünland mit dem Simulationsmodell FOPROQ zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels

B. Thies¹, C. Kluß², A. Herrmann² und M. Wachendorf¹

¹FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
UNIVERSITÄT KASSEL,

Steinstraße 19, 37213 Witzhausen, b.thies@uni-kassel.de

²INSTITUT FÜR PFLANZENBAU UND PFLANZENZÜCHTUNG - GRÜNLAND UND
FUTTERBAU/ÖKOLOGISCHER LANDBAU,
Christian-Albrechts-Universität, 24118 Kiel

1. Einleitung und Problemstellung

Simulationsmodelle sind ein wichtiges Instrument zur Bewertung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf die Biomasseproduktion von Grünlandaufwüchsen. Im Rahmen des Forschungsprojektes KLIMZUG-Nordhessen werden Anpassungsstrategien für landwirtschaftliche Anbau- und Nutzungssysteme in den Überschwemmungsgebieten der Fließgewässer untersucht. Hierbei geht es um die Umwandlung von Ackerflächen in extensiv bewirtschaftetes Grünland hinsichtlich positiver wasser- und bodenschutzrelevanter Funktionen. Ziel dieser Studie ist es, mit Hilfe eines Simulationsmodells für Grünlandbestände Simulationen des TM-Ertrages unter veränderten Klimabedingungen durchzuführen, um damit mögliche Ertragsänderungen quantifizieren zu können.

2. Material und Methoden

Die für eine Kalibrierung des Ertrags- und Qualitätsmodells FOPROQ (FORage PROduction Quality, KORNHER et al. 1991) benötigten Daten wurden in zweijährigen Feldversuchen (vollständig randomisierte Block-Anlage) auf Versuchsflächen der Universität Kassel an der Werra in Witzhausen erhoben. Es erfolgte eine Prüfung von 3 Ansaatmischungen (Standard-, Diversitätsmischung und Rohrglanzgras (THIES et al. 2012, in diesem Band) in zwei Aufwüchsen mit Schnitzeitpunkten Anfang Juli und Anfang Oktober. Die für die Parametrisierung des Modells benötigten Ertrags- und Qualitätsdaten wurden in zweiwöchigem Turnus erhoben. Nach erfolgter Modellkalibrierung wurden unter Eingabe von Klimamodelldaten (Emissions-Szenario: SRES-A1B, globales Klimamodell: ECHAM5/MPI-OM, Downscaling-Methode: WETTREG2010, KREIENKAMP et al. 2010) Simulationen bis 2100 durchgeführt. WETTREG liefert in 10 Simulationsläufen (Lauf 0 bis Lauf 9) täglich simulierte Klimamodelldaten, auf Basis der DWD-Wetterstation Göttingen, (tägl. Niederschlags-summe, Tagesmitteltemperatur, Globalstrahlung usw.), die zur Eingabe in das Modell benötigt werden. Zur Überprüfung der WETTREG-Klimamodelldaten wurde zunächst eine Vergleichsanalyse der FOPROQ-Simulationen mit den gemessenen Daten (DWD-Wetterstation Göttingen) und den WETTREG-Daten von 1961 bis 2010 durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Auswertung der Simulation der Trockenmasseerträge unter Anwendung des Mann-Kendall-Trendtests sowie eine Regressionsanalyse zur Quantifizierung der simulierten Ertragsänderungen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Bei der Modellkalibrierung konnten für alle Parameter und Ansaatmischungen gute Anpassungsgüten erreicht werden. Der Vergleich von gemessenen und simulierten Daten durch eine lineare Regression zeigte hohe Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,55 - 0,88. Demnach kann das Modell FOPROQ für Simulationen mit Klimamodelldaten an diesem Standort eingesetzt werden.

Der Vergleich der Ertragssimulationen von Wetterdaten und Klimamodelldaten (1961 bis 2010) zeigt eine höhere jährliche Variabilität im TM-Ertrag der historischen Wetterdaten (Abb. 1), dennoch werden die Erträge auf dem gleichen Niveau simuliert. Für die Betrachtung der zukünftigen Erträge (2011 bis 2100) ist davon auszugehen, dass hier nicht die volle Variabilität erreicht wird, aber Tendenzen plausibel wiedergegeben werden.

In Abb. 1 sind die Ertragssimulationen für die beiden Aufwüchse der Standardmischung sowie des Jahresertrages exemplarisch für WETTREG Lauf 1 dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse der Trendanalyse (Tab. 1) zeigen, dass es für Aufwuchs 1 einen signifikant positiven und für Aufwuchs 2 einen signifikant negativen Trend von 2011 bis 2100 gibt, die sich dann im Gesamtjahresertrag aufheben und dieser somit keinen signifikanten Trend aufweist. Für die Diversitätsmischung konnte hingegen auch im Jahresertrag ein signifikant positiver Trend festgestellt werden.

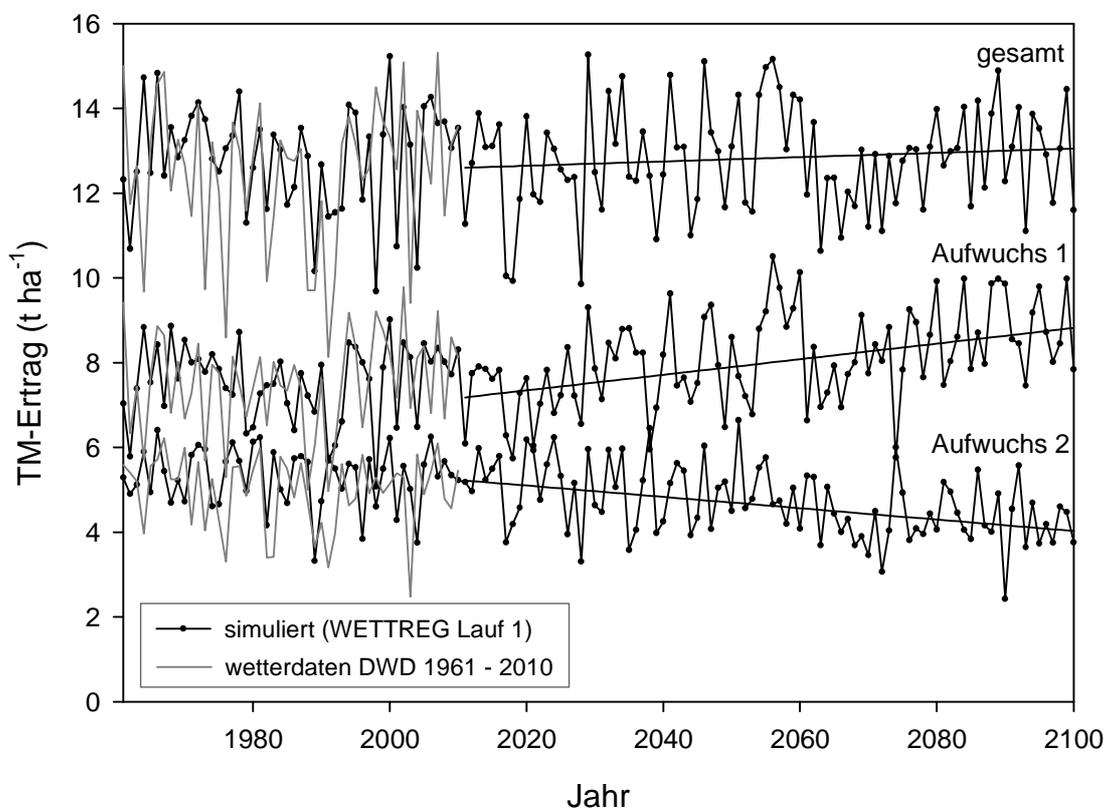


Abb. 1: Simulation der TM-Erträge ($t\ ha^{-1}$) mit den Klimamodelldaten (WETTREG2010, Lauf 1 von 1961 bis 2100) und Wetterdaten des DWD (1961 bis 2010) für die zwei Aufwüchse und Jahresertrag der Standardmischung.

Die Regressionsanalyse von 2011 bis 2100 (Tab. 2) zeigt Anstiege im TM-Ertrag für den ersten Aufwuchs von 23,9% (STA), 22,1% (DIV) und 28,1% (RG) und Ertragsrückgänge für den zweiten Aufwuchs von -29,8% (STA), -18,5% (DIV) und -27,7% (RG). Aufwuchs 1 profitiert von einem prognostizierten früheren Beginn der Vegetationsperiode, mit höheren Temperaturen. Der Bodenwasserspeicher ist zu Beginn der Wachstumsperiode voll gefüllt, sodass ein Wassermangel durch geringere Niederschlagssummen während der Vegetationsperiode erst im Verlaufe des Jahres, den zweiten Aufwuchs betreffend, Einfluss auf die Ertragsbildung nehmen kann. Der Ertragsrückgang im zweiten Aufwuchs lässt sich auf die von WETTREG2010 ab ca. 2050 prognostizierten Rückgänge in der Niederschlagssumme während der Wachstumsperiode zurückführen. Eine Verschiebung des Erntetermines für den ersten Aufwuchs könnte positive Auswirkungen auf die Ertragsbildung des zweiten Aufwuchses haben, was aber im Rahmen dieser Studie in weiterführenden Arbeiten geklärt werden muss.

Neben den Klimaänderungen wird auch die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ansteigen, die ebenfalls einen Effekt auf die Wachstumsprozesse von Grünlandbeständen hat. Das hier verwendete Modell hat den CO₂-Anstieg nicht integriert, sodass bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser mit berücksichtigt werden muss. Hier hierzu existieren hinreichend Untersuchungen, die ein weites Spektrum an Ergebnissen liefern. Im Schweizer FACE-Experiment ermittelte HEBEISEN et al. (1997) einen Ertragszuwachs für Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) von durchschnittlich 7% und für Weißklee (*Trifolium repens*) von 10 bis 20%. Demnach muss der CO₂-Düngeeffekt positiv in die Ertragsbildung eingehen. Auch auf Grund der geringeren Transpiration bei erhöhter CO₂-Konzentration muss insbesondere bei geringer Wasserversorgung mit einer Steigerung der Biomasseproduktion gerechnet werden.

Tab.1: **Trendanalyse** (Mann-Kendall-Test) exemplarisch für WETTREG Lauf 1 von 2011 bis 2100 für die getesteten Ansaatmischungen (Signifikanzniveau 0,05).

Tab. 2: **Lineare Regressionsanalyse** zur Quantifizierung der Ertragsänderung von 2011 bis 2100 der 10 WETTREG-Läufe (Mittelwert ± Standardabweichung)

TM-Ertrag	tau	p-value	TM-Ertrag	absolut [t ha ⁻¹]	relativ [%]
Standardmischung			Standardmischung		
gesamt	0.078	0.280	gesamt	0.29 ± 0.38	2.4 ± 3.2
Aufwuchs 1	0.306	<0.001	Aufwuchs 1	1.74 ± 0.31	23.9 ± 4.8
Aufwuchs 2	-0.202	0.005	Aufwuchs 2	-1.45 ± 0.29	-29.8 ± 6.1
Diversitätsmischung			Diversitätsmischung		
gesamt	0.160	0.026	gesamt	0.55 ± 0.20	7.2 ± 2.7
Aufwuchs 1	0.305	<0.001	Aufwuchs 1	1.07 ± 0.19	22.1 ± 4.4
Aufwuchs 2	-0.280	<0.001	Aufwuchs 2	-0.52 ± 0.09	-18.5 ± 3.0
Rohrglanzgras			Rohrglanzgras		
gesamt	0.059	0.415	gesamt	0.15 ± 0.22	2.4 ± 3.3
Aufwuchs 1	0.302	<0.001	Aufwuchs 1	1.01 ± 0.19	28.1 ± 5.9
Aufwuchs 2	-0.214	<0.001	Aufwuchs 2	-0.86 ± 0.17	-27.7 ± 5.2

4. Schlussfolgerungen

Die FOPROQ-Simulationen mit den Klimamodelldaten WETTREG2010 zeigen für die hier untersuchten Grünland-Ansaatmischungen einen Ertragszuwachs für den ersten Aufwuchs und einen Ertragsrückgang im zweiten Aufwuchs, was sich im Gesamtjahresertrag aufhebt und in einer gleich bleibenden Ertragsentwicklung resultiert. In weiteren Arbeiten bleiben die Auswirkung einer Verschiebung der Schnitttermine und der Einfluss einzelner Klimaparameter auf die Biomassebildung der Aufwüchse zu untersuchen.

Literatur

- HEBEISEN, T., LÜSCHER, A., ZANETTI, S., FISCHER, B.U., HARTWIG, U.A., FREHNER, M., HENDREY, G.R., BLUM, H. und NÖSBERGER, J. (1997) Growth response of *Trifolium repens* L and *Lolium perenne* L as monocultures and bi-species mixture to free air CO₂ enrichment and management. *Global Change Biol.* 3 (2), 149-160.
- KORNHER, A., NYMAN, P. und TAUBE, F. (1991): Ein Computermodell zur Berechnung der Qualität und Qualitätsveränderung von gräserdominierten Grünlandaufwüchsen aus Witterungsdaten. *Das Wirtschaftseigene Futter* 37, 232-248.
- KREIENKAMP, F., SPEKAT, A. und ENKE, W. (2010): Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Simulationsmodell WETTREG2010. Abschlussbericht des Umweltbundesamtes UBA, 48 S.
- THIES, B., RICHTER, F., LABRIOLA, M. und WACHENDORF, M. (2012): Anbau und bioenergetische Verwertung von Extensivgrünland in Überschwemmungsgebieten der Fließgewässer: Mitteilung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, Band 13.

Anbau und bioenergetische Verwertung von Extensivgrünland in Überschwemmungsgebieten von Fließgewässern

B. Thies, F. Richter, M. Labriola und M. Wachendorf

FACHGEBIET GRÜNLANDWISSENSCHAFT UND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE,
UNIVERSITÄT KASSEL,
Steinstraße 19, 37213 Witzhausen, b.thies@uni-kassel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes KLIMZUG-Nordhessen werden Anpassungsstrategien landwirtschaftlicher Nutzung an die zu erwartenden Klimaänderungen in den Überschwemmungsgebieten der Fließgewässer untersucht. Hier kann die Umwandlung von ackerbaulich genutzten Flächen in extensiv bewirtschaftetes Grünland einen wichtigen Beitrag für den Boden- und Gewässerschutz leisten, wenn die Gefahr von Überflutungen als Folge des Klimawandels zunimmt. Die Kultivierung von Dauergrünland ist hier aufgrund seiner Überschwemmungstoleranz und Ertragssicherheit, sowie seiner boden- und nährstoffkonservierenden Eigenschaften eindeutig zu fördern (VAN DER PLOEG, 1999). Das Ziel dieser Studie ist die Beurteilung der Qualität und Quantität der Biomassen hinsichtlich einer möglichen energetischen Verwertung, da neben dem ökologischen Wert von Grünlandbeständen nur der wirtschaftliche Nutzen den Anreiz zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen gewährleistet.

2. Material und Methoden

In einem zweijährigen Feldversuch (vollständig randomisierte Block-Anlage mit vier Wiederholungen, 2009 und 2010) wurden drei Grünland-Ansaatmischungen (Standard-, Diversitätsmischung und Rohrglanzgras, Tab.1) mit zwei N-Düngestufen (0 und 100 kg ha⁻¹) auf Versuchsflächen der Universität Kassel in einer Flussaue der Werra in Witzhausen (schluffig-lehmiger Sand) geprüft. Die Etablierung der Bestände erfolgte bereits im August 2008 mit einer Plot-Größe von 60 m². Die mittlere jährliche Niederschlagssumme während des Feldversuches betrug 863 mm bei einer Jahresmitteltemperatur von 9,0°C.

Tab. 1: Charakteristik der experimentellen Ansaatmischungen

Ansaatmischung	Anzahl Arten in funktionellen Gruppe	dominierende Arten
Standardmischung	5 Gräser	<i>Festuca pratensis</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Alopecurus pratensis</i>
	2 Leguminosen	<i>Trifolium hybridum</i> , <i>Trifolium repens</i>
Diversitätsmischung	11 Gräser	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Festuca nigrescens</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Cynosurus cristatus</i>
	24 Kräuter	<i>Silene dioica</i> , <i>Centaurea jacea</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Crepis biennis</i> , <i>Achillea millefolium</i>
	1 Leguminose	<i>Lotus pedunculatus</i>
Rohrglanzgras	1 Gras	<i>Phalaris arundinacea</i>

Ertrags- und Qualitätsparameter wurden an fünf Terminen im ersten Aufwuchs und sechs Terminen im zweiten Aufwuchs, alle zwei Wochen, ermittelt. Die Ernte erfolgte Anfang Juli und Anfang Oktober. Trockenmasse(TM)-Erträge sowie TS-Gehalte und die Qualitätsparameter Rohprotein (RP), Rohfaser (RF) Rohfett (EE), Neutral-Detergenz-Faser (NDF) und Säure-Detergenz-Faser (ADF) wurden nach standardisierten Verfahren und unter Verwendung der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) analysiert.

Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte aus beiden Versuchsjahren herangezogen. Es wurde eine mehrfaktorielle (Ansaatmischung, Aufwuchs und Düngestufe) Varianzanalyse (ANOVA, Statistiksoftware R) durchgeführt. Anschließend wurde ein Pairwise-t-Test mit Bonferroni-Korrektur (Signifikanzniveau, 0,05) für die Ertrags- und Qualitätsparameter zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den geprüften Ansaatmischungen durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Sowohl die Ansaatmischung, als auch der Aufwuchs zeigten einen signifikanten Einfluss für alle Parameter (Tab. 2). Alle Ansaatmischungen erreichten im ersten Aufwuchs einen signifikant höheren Ertrag als im zweiten Aufwuchs. Der Einfluss der Düngestufe konnte jedoch nur für RP, RF und NDF als signifikant erkannt werden und zeigte in TM-Ertrag und TS-Gehalt keinen Unterschied, dies lässt sich damit erklären, dass die Überschwemmungsflächen entlang der Fließgewässer durch eine hohe natürliche Düngung bereits sehr gute Bedingungen aufweisen und eine zusätzliche Düngung wenig Auswirkungen hat. Die Interaktionen zeigen, dass die Ansaatmischungen mit veränderter Düngestufe unterschiedlich in den Aufwüchsen reagieren mit Ausnahme von ADF, TS-Gehalt und RP.

Ein Post-Hoc-Test (Pairwise-t-test mit Bonferroni-Korrektur, Abb. 1) zeigte im TM-Ertrag einen signifikanten Unterschied der Standardmischung im Vergleich zur Diversitätsmischung und Rohrglanzgras. Den höchsten TM-Ertrag konnte demnach die Standardmischung mit $14,9 \text{ t ha}^{-1}$ erreichen. Die Diversitätsmischung und Rohrglanzgras konnten nur einen Jahresertrag von $9,0$ bzw. $8,3 \text{ t ha}^{-1}$ erreichen. Dennoch sind auch diese Erträge relativ hoch und vergleichbar mit Erträgen einiger Ackerkulturen. Dies ist von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der extensiven Grünlandnutzung hinsichtlich einer energetischen Verwertung.

Neben dem TM-Ertrag spielt auch die Qualität der Grünlandaufwüchse eine Rolle je nach dem welcher energetischen Verwertungsweise die Biomassen zugeführt werden sollen. Die Standardmischung erreichte im zweiten Aufwuchs signifikant höhere Rohprotein-Gehalte als Diversitätsmischung und Rohrglanzgras. Dahingegen konnte Rohrglanzgras sowohl im ersten als auch im zweiten Aufwuchs signifikant höhere Rohfett-Gehalte erzielen, und gleichzeitig geringere Rohfaser und ADF-Gehalte als die Standard- und Diversitätsmischung.

Tab. 2: Varianzanalyse des Einflusses von Ansaatmischung (Standard-, Diversitätsmischung, Rohrglanzgras), Aufwuchs (1. u. 2.) und Düngung (0 u. 100 kg N ha⁻¹) auf TM-Ertrag, TS-Gehalt und Gehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, NDF und ADF (Signifikanzniveau, 0,05).

	F	TM-Ertrag		TS-Gehalt		Rohprotein		Rohfett	
		G	F-Wert	P	F-Wert	P	F-Wert	P	F-Wert
Ansaatmischung(AM)	2	68	<0.001	39	<0.001	38	<0.001	71	<0.001
Aufwuchs	1	184	<0.001	21	<0.001	176	<0.001	139	<0.001
Düngung	1	3.4	0.075	0.45	0.507	10	0.004	1.6	0.217
AM*Aufwuchs	2	13	<0.001	27	<0.001	15	<0.001	5.3	0.010
AM*Dünger	2	0.41	0.668	5.7	0.007	3.8	0.033	1.7	0.194
Aufwuchs*Dünger	1	2.4	0.133	5.1	0.030	2.7	0.111	1.8	0.194
Residuen	35								

	F	Rohfaser		NDF		ADF	
		G	F-Wert	P	F-Wert	P	F-Wert
Ansaatmischung	2	26	<0.001	9.2	<0.001	160	<0.001
Aufwuchs	1	509	<0.001	289	<0.001	1067	<0.001
Düngung	1	6.0	0.019	19	<0.001	0.55	0.464
AM*Aufwuchs	2	5.8	0.006	6.0	0.006	0.31	0.739
AM*Dünger	2	0.01	0.991	2.2	0.122	2.6	0.091
Aufwuchs*Dünger	1	10	0.003	5.9	0.020	7.2	0.011
Residuen	35						

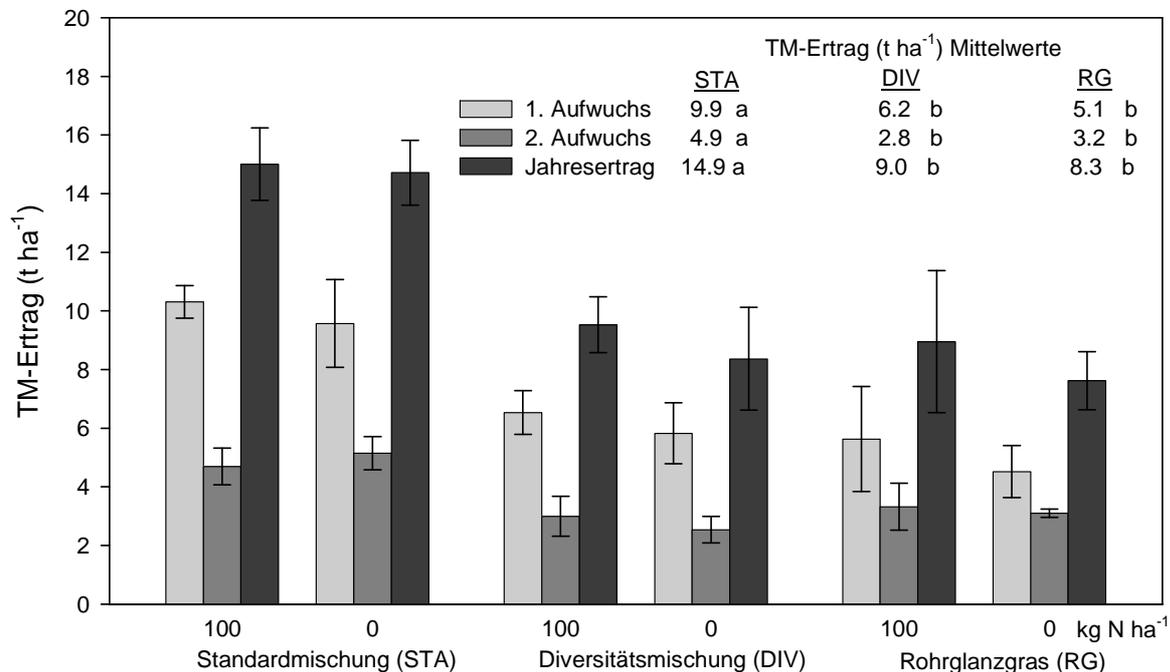


Abb. 1: TM-Erträge (t ha⁻¹) des 1. und 2. Aufwuchses sowie die Jahreserträge der drei Ansaatmischungen in zwei N-Düngestufen (100 und 0 kg N ha⁻¹). Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau 0,05; Paarweise t-Test mit Bonferroni-Korrektur) zwischen den Ansaatmischungen gemittelt über die Düngestufen.

4. Schlussfolgerungen

Die geprüften Ansaatmischungen erreichten mit einer extensiven Bewirtschaftungsweise sehr hohe Jahreserträge, was bei einer Umwandlung von Ackerflächen in Extensivgrünland und möglichen energetischen Verwertung auf fruchtbaren Überschwemmungsflächen eine wirtschaftliche Alternative bietet und zusätzlich einen Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz leistet. Die Wahl der Grünlandbestandstypen richtet sich danach, ob der Fokus auf die Biodiversität, den Ertrag oder die Qualität gelegt wird.

Literatur

VAN DER PLOEG, R.R., und ELMERS, W., SIEKER, P. (1999): Floods and other possible adverse environmental effects of meadowland area decline in former West Germany. *Naturwissenschaften* 86, 313-319.

Etablierung von Switchgrass in Dauergrünland

U. Thumm, L. Fenn, I. Lewandowski

UNIVERSITÄT HOHENHEIM, INSTITUT FÜR KULTURPFLANZENWISSENSCHAFTEN (340), 70593
Stuttgart, Ulrich.Thumm@uni-hohenheim.de

1. Einleitung und Problemstellung

Aufgrund von Veränderungen in den Rahmenbedingungen für die Milchviehhaltung werden immer häufiger Grünlandflächen nicht mehr zur Futtererzeugung benötigt. Diese Entwicklung ist besonders bei ungünstigen Standortsbedingungen ausgeprägt. Eine Umwandlung in Ackerflächen ist häufig nicht möglich und ist meist durch gesetzliche Regelungen eingeschränkt oder untersagt. Andererseits ist es in vielen Fällen Ziel eine offene Landschaft zu erhalten und auch den im Boden unter Grünlandflächen gespeicherten Kohlenstoff nicht freizusetzen. Daher stellt sich die Frage nach alternativen Verwertungsmöglichkeiten für die Aufwüchse von Graslandflächen, für die im Rahmen der Bioenergie Diskussion auch immer stärker eine energetische Verwertung der Grünlandaufwüchse Bedeutung erlangt (PROCHNOW *et al.*, 2009). Energieerträge pro Flächeneinheit werden sowohl bei einer Vergärung in Biogasanlagen als auch bei einer Verbrennung in Biomasseheizanlagen vor allem durch den Biomasseertrag bestimmt. Für eine effektive Bioenergieerzeugung kommt daher einer hohen Produktivität bei möglichst niedrigem Input eine entscheidende Bedeutung zu.

Der typische Wachstumsverlauf bei Grünland ist geprägt von einem Zuwachsmaximum im Frühjahr und geringeren Zuwachsraten im Sommer. Häufig wirkt in den Sommermonaten eine limitierte Wasserversorgung wachstumsbegrenzend. Im Gegensatz zu den heimischen C₃-Pflanzen zeigen die C₄-Gräser einen dazu gegensätzlichen Zuwachsverlauf. Sie haben höhere Temperaturansprüche und entwickeln sich daher im Frühjahr nur langsam, können aber bei wärmeren Bedingungen und begrenztem Wasserangebot in den Sommermonaten, aufgrund ihres anderen Stoffwechselwegs, effektiv Biomasse bilden. Die Etablierung von Mischbeständen heimischer C₃-Grünlandpflanzen mit C₄-Gräsern könnte daher ein effektiver Weg sein, die Produktivität von Grünlandbeständen, insbesondere in den Sommermonaten, zu steigern und trotzdem die ökologischen Funktionen von Grünland zu erhalten. Bei einer Umwandlung von Grünland in Kurzumtriebsplantagen oder Miscanthusflächen würden diese Funktionen nur noch sehr eingeschränkt erhalten bleiben. Inwieweit sich Mischbestände mit C₃- und C₄-Pflanzen unter mitteleuropäischen Bedingungen etablieren lassen und welche Artenkombinationen dabei zielführend sein können wurde bisher noch kaum untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden zunächst Möglichkeiten zur Etablierung von Switchgrass (*Panicum virgatum*) in Dauergrünlandbeständen in einem Feldversuch getestet. Switchgrass wurde gewählt, da diese ausdauernde Art in Nordamerika in den Prärien natürlicherweise auftritt und das Potential dieser Art als Bioenergiepflanze in den letzten Jahren dort und auch in Europa intensiver untersucht wurde (LEWANDOWSKI *et al.*, 2003). Switchgrass hat ein tiefes Wurzelsystem und ist charakterisiert durch eine hohe Wasser- und Stickstoffnutzungseffizienz. Die verfügbaren Genotypen lassen sich in zwei ökologische Gruppen einteilen: Tieflandtypen stammen aus den wärmeren Regionen der USA und Mexikos und sind eher an feuchtere Standorte angepasst. Sie zeigen eine geringere Winterhärte, haben aber bei guter Wasser- und Nährstoffversorgung eine hohe Ertragsleistung. Hochlandtypen stammen aus der Region des Mittleren Westens der

USA bis Kanada, kommen auch auf trockeneren Standorten vor und sind deutlich winterhärter. Aufgrund ihrer kürzeren Vegetationsdauer reifen sie auch früher ab (TRESELER, 2007). Durch züchterische Bearbeitung sind von beiden Typen an verschiedene klimatische Bedingungen angepasste Sorten verfügbar. Sie haben verschiedene Standortsansprüche und unterscheiden sich in der Kältetoleranz.

Für die Bioenergienutzung wird Switchgrass üblicherweise in Reinbeständen auf Ackerflächen angesät. Problematisch ist dabei häufig ein schlechtes Auflaufen der Saaten durch einen hohen Anteil dormanter Samen und eine geringe Konkurrenzfähigkeit der Jungpflanzen gegenüber Unkräutern. Für eine Etablierung von Switchgrass in Dauergrünlandbeständen muss daher zunächst untersucht werden, ob bei verschiedenen Verfahren für die konkurrenzempfindlichen Switchgrass-Pflanzen Möglichkeiten bestehen in einem Grünland-Altbestand zu wachsen und durch welche Maßnahmen die Konkurrenzkraft von Switchgrass in der Jugendentwicklung verbessert werden kann.

2. Material und Methoden

Auf einer Dauergrünlandfläche in Stuttgart-Hohenheim (400 m über NN, mittlere jährliche Niederschlagssumme 698 mm, mittlere Jahrestemperatur 8,8 °C, Pseudogley-Parabraunerde) wurde zur Klärung dieser Fragestellung ein Feldversuch angelegt. Der Ausgangspflanzenbestand setzte sich aus 65 % Gräsern (wesentliche Arten: *Alopecurus pratensis*, *Lolium perenne*, *Poa trivialis*, *Holcus lanatus*), 20 % Leguminosen (*Trifolium pratense*, *Vicia sepium*, *Trifolium repens*) und 15 % Kräutern (*Taraxacum officinale*, *Rumex acetosa*, *Crepis biennis*) zusammen. Um die Altbestandskonkurrenz zu variieren, wurden nach dem 1. Schnitt auf der Fläche drei verschiedene Vorbehandlungen durchgeführt: I. Einsatz eines Totalherbizids (Glyphosate) zur Abtötung der Grasnarbe, II. Einsatz einer Streifenfräse (20 cm breit, ca. 3-5 cm tief) und III. unbehandelte Kontrolle (hier wurde nur eine ca. 3 cm tiefer Schlitz als Reihenmarkierung in den Bestand geritzt). Von zwei Switchgrass-Sorten (Shawnee, Hochlandtyp und Kanlow, Tieflandtyp) wurden Rhizome, im Gewächshaus vorkultiivierte Jungpflanzen sowie Saatgut in die vorbehandelten Flächen eingebracht (Reihenabstand 75 cm). Zwischen den Reihen wurde der Bestand mit einem 50 cm breiten Rasenmäher regelmäßig gemäht, die verbleibenden 25 cm breiten Streifen mit den Switchgrass-Pflanzen blieben während der Beobachtungszeit ungeschnitten. Ende Juli wurde die Etablierungsrate bestimmt und die Höhe der Switchgrass-Pflanzen gemessen. Als Etablierungsrate wurde die Anzahl der vorgefundenen Pflanzen, bezogen auf die Zahl ausgepflanzter Jungpflanzen, Rhizome oder ausgebrachter keimfähiger Samen bezeichnet. Die Daten der Wuchshöhenmessungen wurden mit Hilfe der SAS Proc MIXED (SAS 9.3) ausgewertet.

Zusätzlich wurde der Einfluss einer Stratifizierung des Saatguts bei 3 °C auf die Keimfähigkeit von Switchgrass im Keimschrank (bei 20 °C) untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Keimfähigkeit des unbehandelten Switchgrass-Saatguts war mit 7 bzw. 10 % sehr gering (Tab. 1). Die Stratifizierung wirkte sich nur bei der Sorte Shawnee bei längerer Dauer positiv auf das Keimverhalten aus, während eine eintägige Behandlung wirkungslos blieb. Bei Kanlow wirkte die Vorbehandlung dagegen schon bei

kurzer Dauer negativ. Probleme mit geringer Keimfähigkeit und Dormanz des Saatguts sind bei Switchgrass bekannt. Es werden verschiedene Vorbehandlungsverfahren eingesetzt, es gibt jedoch bisher noch keine einheitlichen Empfehlungen für praktikable und effektive Verfahren. Zudem wirken die Vorbehandlungen bei verschiedenen Genotypen anscheinend unterschiedlich (TRESELER, 2007).

Tab. 1: Keimfähigkeit von zwei Switchgrass-Sorten nach unterschiedlicher Stratifizierungsdauer

Stratifizierungsdauer (Tage)	Sorte Shawnee			Sorte Kanlow		
	0	1	14	0	1	14
Keimrate (%)	7	7	25	10	5	7

Die Ansaat von Switchgrass in einem ungestörten Grünlandbestand war kaum erfolgreich (Tab. 2.). Weniger als 0,5 % der keimfähigen Samen konnten sich hier zu Pflanzen entwickeln. Mit 10 cm Wuchshöhe waren die Pflanzen aufgrund der Altbestandskonkurrenz nur schwach entwickelt. Auch in den Frässtreifen konnte keine bessere Entwicklung von Switchgrass festgestellt werden. Der offene Boden wurde durch die vorhandenen Grünlandpflanzen schnell wieder besiedelt, so dass keine Unterschiede zur unbehandelten Kontrollvariante beobachtet werden konnten. Keimung und Jugendentwicklung von Switchgrass war zu langsam um von der zeitweisen Reduktion der Konkurrenz im Bereich der Frässtreifen profitieren zu können. Bei der Herbizidbehandlung war die Fläche zum Saatzeitpunkt weitgehend vegetationsfrei. Die fehlende Konkurrenz führte zu einer signifikanten Verbesserung des Wachstums der Switchgrass-Pflanzen. Im Laufe der Zeit entwickelte sich in dieser Variante aus dem Bodensamenvorrat wieder ein grünlandähnlicher Bestand, der zunächst von Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) dominiert wurde.

Durch Pflanzung von vorgezogenen Jungpflanzen konnte bei deutlich geringeren Verlusten Switchgrass etabliert werden. Obwohl auch hier ein gewisser Einfluss der Vorbehandlung erkennbar ist, ergaben sich keine signifikanten Effekte einer variierten Altbestandskonkurrenz auf die Wuchshöhe. In dieser Variante fand die sensible Anfangsphase mit langsamer Keimung und konkurrenzempfindlicher Jungpflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus statt. Allerdings wird der Einsatz vorkultivierter Jungpflanzen aus Kostengründen kaum für die Praxis relevant werden.

Aus Rhizomen entwickelten sich nur wenige Pflanzen. Die Rhizome von Switchgrass sind klein und nicht so robust wie bei anderen C₄-Gräsern (z.B. Miscanthus). Rhizompflanzung erwies sich unter den Versuchsbedingungen nicht als geeignetes Verfahren zur Etablierung von Switchgrass in Grünlandbeständen. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen berichtet TRESELER (2007) bei einer Herbstpflanzung von Switchgrass-Rhizomen in Ackerflächen von einem guten Etablierungserfolg.

Zwischen den beiden eingesetzten Sorten bestanden keine ausgeprägten Unterschiede, Shawnee (Hochlandtyp) erreichte jedoch immer eine etwas höhere Etablierungsrate. Hochlandtypen sind im Vergleich zu den Tieflandtypen meist nutzungsstoleranter. Daher würden sie sich besonders für eine Verwertung der Aufwüchse in einer Biogasanlage anbieten, während sich die Tieflandtypen bei spätem Schnitt im Herbst besser für die Verbrennung eignen. Nach erfolgreicher Etablierung von Switchgrass wäre auch ein Nutzungssystem vorstellbar, bei dem zunächst ein früher 1.

Schnitt zur Silagebereitung erfolgt. Zu diesem Zeitpunkt haben die Grünlandgräser schon hohe Zuwachsraten, während die C₄-Gräser noch kaum ausgetrieben haben und von der Nutzung weitgehend unbeeinflusst bleiben. Die Folgenutzung könnte sich dann, je nach Verwertungsrichtung, am Entwicklungsverlauf des Switchgrass orientieren.

Tab. 2: Etablierungsrate (Prozentsatz der etablierten Pflanzen bezogen auf die Anzahl der ausgebrachten Jungpflanzen, Rhizome oder keimfähigen Samen) und Wuchshöhe (es werden Mittelwerte der beiden Sorten dargestellt, da die Dreifachwechselwirkung nicht signifikant ist) von Switchgrass 10 Wochen nach Saat bzw. Pflanzung

Etablierungs- verfahren	Vorbehandlung der Fläche	Etablierungsrate (%)		Wuchshöhe (cm) (Mittel der Sorten)*
		Sorte Shawnee	Sorte Kanlow	
Ansaat	ohne (Kontrolle)	0.45 ± 0.27	0.33 ± 0.18	10.08 ^{ab}
	Frässtreifen	0.38 ± 0.24	0.30 ± 0.18	8.04 ^b
	Totalherbizid	2.38 ± 0.28	1.60 ± 0.08	39.03 ^c
Rhizome	ohne (Kontrolle)	2.38 ± 1.37	0	13.16 ^{abd}
	Frässtreifen	7.14 ± 2.38	5.95 ± 4.51	21.40 ^{ae}
	Totalherbizid	9.52 ± 3.37	2.38 ± 1.37	37.16 ^c
Jungpflanzen	ohne (Kontrolle)	54.76 ± 9.82	28.33 ± 3.19	26.93 ^{cde}
	Frässtreifen	46.43 ± 4.90	35.00 ± 9.95	29.28 ^{ce}
	Totalherbizid	79.76 ± 7.11	48.33 ± 8.77	34.35 ^c

Für die landwirtschaftliche Praxis würde sich als einfaches und kostengünstiges Etablierungsverfahren eine Nachsaat mit einem Schlitzsaatgerät anbieten. Die langsame Keimung und geringe Konkurrenzkraft der Switchgrass-Pflanzen während der Jugendentwicklung stellen dabei aber eine bisher nicht zufrieden stellend gelöste Problematik bei der Etablierung von C₄-Gräsern in Dauergrünlandbeständen dar (DOLL *et al.*, 2011).

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchung ergab, dass eine Etablierung von Switchgrass in Dauergrünland durch Pflanzung vorgezogener Jungpflanzen möglich ist. Eine Nachsaat war jedoch nur erfolgreich, wenn die Konkurrenz des Altbestands durch Herbizidanwendung eingeschränkt wurde.

Bevor die Perspektiven für die Realisierung des prognostizierten Mehrertrags durch C₄-Gräser in Dauergrünland beurteilt werden können, müssen in einem nächsten Schritt weitere Untersuchungen zum geeigneten Management von derartigen Mischbeständen folgen. Zudem gibt es bisher noch keine Erkenntnisse zur Stabilität bzw. zu den längerfristigen Veränderungen in der botanischen Zusammensetzung derartiger Mischbestände unter verschiedenen Standorts- und Bewirtschaftungsbedingungen.

Literatur

- DOLL, J.E., HAUBENSAK, K.A., BOURESSA, E.L. und JACKSON, R.D. (2011): Testing disturbance, seeding time, and soil amendments for establishing native warm-season grasses in non-native cool-season pasture. *Restoration Ecology* 19, 1-8.
- LEWANDOWSKI, I., SCURLOCK, J.M.O., LINDVALL, E. und CHRISTOU, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25, 335-361.
- PROCHNOW, A., HEIERMANN, M., PLÖCHL, M., LINKE, B., IDLER, C., AMON, T. und HOBBS, P.J. (2009): Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100, 4931-4944.
- TRESELER, C.H. (2007): *Optimierung ausgewählter Biomasseparameter von Switchgrass (Panicum virgatum) für die industrielle Verwertung*. Dissertation Universität Bonn, IBL Bonn, 147 S.

Versuchsergebnisse zur Wirkung von Rapspressschrot (RPS) auf Ertrag und Futterqualität bei Grünland

M. Diepolder, S. Raschbacher

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR AGRARÖKOLOGIE,
ÖKOLOGISCHEN LANDBAU UND BODENSCHUTZ,
Michael.Diepolder@LfL.bayern.de

1. Einleitung und Problemstellung

In der Wasserschutzgebietszone II ist der Einsatz von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Biogasgärresten untersagt. Eine weitere, teilweise erhebliche Einschränkung der Düngung dieser Flächen ist gegeben, wenn aufgrund von Agrarumweltmaßnahmen keine Ausbringung von mineralischen Stickstoffdüngern möglich ist. Gleiches gilt für Flächen, die nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaues bewirtschaftet werden. Landwirte mit einem hohen Flächenanteil in der Wasserschutzgebietszone II, für welche die oben genannten Verhältnisse zutreffen, können Probleme mit einer bedarfsgerechten Düngung ihrer Flächen haben. Dies gerade dann, wenn es sich um Grünlandstandorte mit potenziell hoher Nutzungsintensität und entsprechendem Düngebedarf handelt und die Betriebe z.B. aufgrund fehlender Pachtmöglichkeiten auf diese Grünlandflächen zwingend angewiesen sind. Nachdem im Ackerbau bereits erste positive Ergebnisse über die Düngewirkung von Rapspressschrot vorliegen (HEIGL, LfL, mündl. Mitteilung), wurde auf Anregung von Kollegen aus der Wasserwirtschaft die Eignung von Rapspressschrot (RPS) im Grünland in einem mehrjährigen Exaktversuch auf einem Standort im Allgäuer Voralpenland geprüft.

2. Material und Methoden

Der Versuch mit fünf Düngungsvarianten (Tab. 1) in vierfacher Wiederholung wurde in den Jahren 2007-2010 im Allgäuer Alpenvorland am Spitalhof/Kempton (730 m ü. NN, 1290 mm mittlerer Jahresniederschlag, 7,0 °C Jahresdurchschnittstemperatur; Parabraunerde aus schluffigem Lehm, native weidelgrasreiche Wiese; durchschnittlich 7,9 % Humus, C/N 9,0:1, pH_{CaCl2} 5,1, P₂O₅ CAL und K₂O CAL bei 7,4 bzw. 10,0 mg/100g Boden in 0-10 cm Tiefe) durchgeführt.

Tab. 1: Versuchsvarianten und gedüngte Nährstoffe

Variante	Beschreibung ¹⁾	Gedüngte Nährstoffe [kg ha ⁻¹ a ⁻¹]				
		N _{gesamt}	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
1	Ohne Düngung (Kontrolle)	0	0	0	0	0
2	Rapspressschrot (RPS) ²⁾	120 (4 x 30)	82	45	25	18
3	Rapspressschrot (RPS) ²⁾	240 (4 x 60)	164	90	50	36
4	KAS, Superphosphat, Kornkali	120 (4 x 30)	75	48	7	46
5	KAS, Superphosphat, Kornkali	240 (4 x 60)	157	96	14	93

¹⁾ Varianten 1-5: 4 Schnitte pro Jahr; mittlere Schnitttermine: 14.05., 23.06., 07.08., 30.09.

²⁾ RPS: ø 90,4 % TS, 84,5 % OS, pH 6,0; ø pro t FM: 41,1 kg Gesamt-N, 1,5 kg NH₄-N, 28,8 kg P₂O₅, 15,3 kg K₂O, 8,5 kg MgO, 6,2 kg S

Zu bemerken ist, dass die Höhe der N-Gaben bei den Varianten 3 und 5 in etwa der veranschlagten N-Düngungsempfehlung für weidelgrasreiche Vielschnittwiesen in Gunstlagen entsprechen sollte. Weiterhin wurde versucht, die PK-Zufuhr der Mineraldüngervarianten (4, 5) an die der RPS-Varianten anzupassen, wobei die mineralische Düngung mit Superphosphat und Kornkali allerdings ausschließlich im Frühjahr erfolgte.

Bei den Aufwüchsen wurden die TM-Erträge von allen 20 Einzelparzellen festgestellt. Für die Bestimmung der Rohfaser-, Rohprotein-, und Rohaschegehalte wurden Mischproben je Versuchsvariante gebildet. Die Energiekonzentration wurde aus den Rohnährstoffen berechnet. Zur Berechnung der durchschnittlichen Nähr- bzw. Mineralstoffkonzentrationen in Tabelle 3 und 4 wurde der Ertragsanteil der einzelnen Aufwüchse am Jahresertrag berücksichtigt. Die botanischen Aufnahmen erfolgten in den Jahren 2008 und 2010 bei jeweils der ersten Wiederholung. Die statistische Verrechnung erfolgte mit dem Statistikpaket SAS unter Anwendung des SNK-Tests bei $\alpha = 0,05$.

3. Ergebnisse und Diskussion

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass der Anteil an Deutschem Weidelgras bzw. der Gräser insgesamt und damit die mittlere Futterwertzahl mit zunehmendem Düngungsniveau anstieg, wobei im Falle gleicher NPK-Düngung die Werte der Mineraldüngervarianten stets über denen der Varianten mit Rapspressschrot lagen (vergleiche Var. 2 und 4 bzw. 3 und 5). Bei mineralischer N-Düngung blieb der Bestand ohne nennenswerten Kleeanteil.

Tab. 2: Botanische Zusammensetzung und mittlere Futterwertzahl (Mittel 2008/10)

Variante	Artenzahl	Deutsches Weidelgras	Σ Gräser	Σ Klee	Σ Kräuter ¹⁾	FWZ ²⁾
in % FM 1. Aufwuchs						
1	17	21	32	9	59	4,8
2	16	33	46	6	48	5,5
3	19	37	55	3	42	5,7
4	16	42	58	1	41	5,9
5	18	56	68	1	31	6,5

¹⁾ Vorwiegend Scharfer Hahnenfuß und Gew. Löwenzahn

²⁾ Ø Futterwertzahl (nach KLAPP et. al.) im ersten Aufwuchs

Auffallend war zudem generell ein sehr hoher Kräuteranteil der vormals eher extensiv bewirtschafteten Fläche. Dies traf nicht nur, wie auch erwartet, für die ungedüngte Kontrollvariante 1, sondern auch für die gedüngten Varianten 2-4 zu und begrenzte deren Futterwert, zudem vermutlich – neben den nachstehend beschriebenen düngungsspezifischen Effekten – auch den Ertrag. Nur Variante 5, welche auch die signifikant höchsten Erträge (Tab. 3) des Versuchs erreichte, wies bei deutlich weniger Kräutern eine vergleichsweise hohe Futterwertzahl (6,5) auf, die allerdings immer noch weit unterhalb erzielbarer Werte (> 7,0) anderer Versuchspartellen (zit. bei DIEPOLDER, 2012) am Spitalhof lag.

Wie Tabelle 3 zeigt, führte der Einsatz von Rapspressschrot (RPS) auf Dauergrünland gerade bei höherer Aufwandmenge (Var. 3) zu signifikant höheren Trockenmasse-, Rohprotein- und Energieerträgen gegenüber der ungedüngten Kontrollvariante. Dieser Düngungseffekt war bereits im ersten Versuchsjahr gegeben (hier nicht explizit dargestellt).

Allerdings erreichte bei identischem Nährstoffaufwand RPS bei weitem nicht die Wirkung der mineralischen Düngung (vgl. Var. 2 vs. 4 bzw. Var. 3 vs. 5), was auch aus Abbildung 1 gut zu ersehen ist. Dies ist vermutlich in erster Linie auf den geringen Anteil an schnell verfügbarem Stickstoff am Gesamt-N zurückzuführen, welcher unter 4 % lag (Tab 1, Fußnote). Bei einer N-Zufuhr in Höhe von 240 kg N/ha bewegte sich bei der Vierschnittwiese der einfache N-Saldo (N-Düngung minus N-Abfuhr) beim Einsatz von RPS im Gegensatz zur Mineraldüngung bereits im deutlich positiven Bereich. Ein ausgeglichener N-Saldo wäre bei einer Aufwandmenge an RPS von etwa 210 kg Gesamt-N/ha gegeben gewesen (siehe Abb. 1). Die gleiche N-Abfuhr bei Mineraldüngung (KAS incl. PK-Grunddüngung) wäre mit 155 kg N/ha erreicht worden. Daraus läßt sich für das verwendete RPS unter Prämisse gleicher Rohprotein- bzw. N-Erträge ein „Mineraldüngeräquivalent“ ($MD\ddot{A}_{RP\text{-Ertrag}}$) von 0,74 (155/210) für die praktische Düngerplanung ableiten. Unter Prämisse gleicher TM-Erträge (hier nicht explizit dargestellt) liegt das $MD\ddot{A}_{TM\text{-Ertrag}}$ jedoch niedriger, nämlich bei 0,58.

Betrachtet man zudem bei den Düngungsvarianten 2-5 die „scheinbare N-Effizienz“ des eingesetzten Gesamt-N, welche sich aus dem Quotienten zwischen der jeweiligen N-Abfuhr der gedüngten Variante minus der N-Abfuhr der Kontrolle und der jeweils applizierten N-Menge berechnet, so weist auch dieser Parameter (RPS: 0,36 bei Var. 2 bzw. 0,45 bei Var. 3; KAS: 0,53 bei Var. 4 bzw. 0,68 bei Var. 5) auf eine wesentlich schlechtere Wirkung des im RPS-N im Vergleich zu KAS hin. Setzt man die oben berechnete „scheinbare N-Effizienz“ der organischen mit den entsprechend mineralisch gedüngten Varianten ins Verhältnis (Var. 2/4 bzw. 5/3), so ergibt sich ein „relativer N-Düngungswert“ von RPS in Höhe von ca. 0,66-0,68. Interessant ist ferner, dass innerhalb des gewählten Düngespektrums (0-240 kg N/ha) die scheinbare N-Effizienz mit zunehmender Düngung noch anstieg. Der Grund dürfte in den unterschiedlichen Pflanzenbeständen der Varianten zu suchen sein.

Tab. 3: Erträge und mittlere Rohfaser-, Rohprotein- und Energiekonzentration (Mittel 2007-2010)

Variante	Erträge und N-Saldo pro ha				Konzentrationen pro kg TM ¹⁾		
	TM [dt]	Rohprotein [kg]	Energie [GJ NEL]	N-Saldo [kg]	Rohfaser [g]	Rohprotein [g]	Energie [MJ NEL]
1	51,8 c	764 d	34,41 c	-86	183 c	148 b	6,65 a
2	65,9 cb	1029 c	44,11 cb	-21	187 cb	157 ab	6,70 a
3	85,5 b	1437 b	56,90 b	+22	197 b	167 a	6,65 a
4	79,1 b	1157 c	52,10 b	-61	194 cb	146 b	6,59 a
5	108,8 a	1787 a	70,38 a	-42	209 a	165 a	6,48 a

¹⁾ Gemittelt unter Berücksichtigung der Ertragsanteile einzelner Schnitte

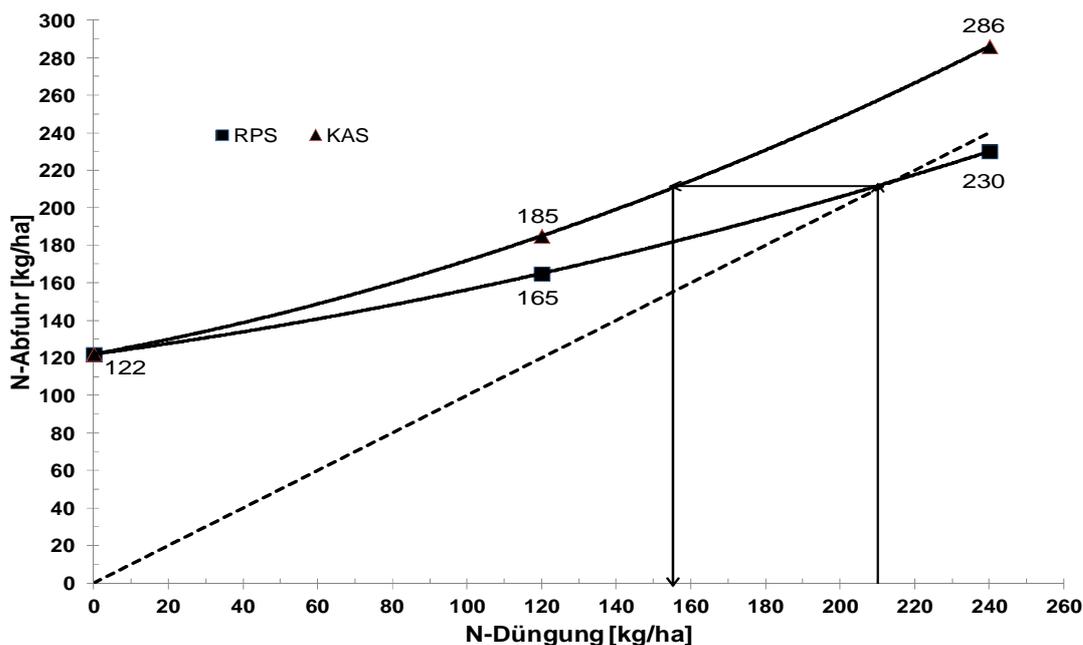


Abb. 1: Beziehungen zwischen N-Düngung mit RPS bzw. KAS und mittlerer N-Aufnahme
 Tab. 4: Nährstoffabfuhr und mittlere Mineralstoffgehalte der Varianten (Mittel 2007-2010)

Variante	P ₂ O ₅	Abfuhr in kg/ha			Ø Konzentration in g/kg TM			
		K ₂ O	MgO	S	P	K	Mg	S
1	47	83	37	17	4,0	13,3	4,3	3,2
2	60	96	47	23	4,0	12,1	4,3	3,5
3	80	124	59	32	4,1	12,1	4,2	3,7
4	74	131	49	37	4,1	13,7	3,7	4,6
5	102	176	60	49	4,1	13,4	3,3	4,5

Im Gegensatz zur botanischen Zusammensetzung der Pflanzenbestände, der mittleren Futterwertzahl und den Hektarerträgen unterschieden sich die mit RPS gedüngten Varianten im mittleren Rohprotein- und Energie- und Phosphorgehalt des Futters kaum bzw. nicht signifikant von den entsprechenden Mineraldüngervarianten. Hingegen war bei letzteren der Rohfasergehalt sowie bei den Mineralstoffen die Kali- und Schwefelkonzentration im Futter (etwas) höher, dagegen der Magnesiumgehalt niedriger (siehe Tab. 4). Bemerkenswert ist, dass beim Rohaschegehalt (Ø 7,6 g/kg TM; nicht explizit dargestellt) kein Unterschied zwischen organischer und mineralischer Düngung zu verzeichnen war, woraus abgeleitet werden kann, dass der Einsatz von RPS zu keiner offensichtlichen Futterschmutzung führte; allerdings wurden mikrobiologische Untersuchungen nicht durchgeführt.

RPS hat ein völlig anderes Nährstoffverhältnis als Gülle. Bei einer im Milchviehbetrieb (Grünlandbetrieb) anfallenden Gülle stehen die Nährstoffe Stickstoff, Phosphat (P₂O₅), Kali (K₂O) in einem Verhältnis von etwa 1 : 0,4 : 1,5 (LFL, 2011). Das verwendete RPS wies dagegen ein Verhältnis von ca. 1 : 0,7 : 0,4 auf. RPS ist damit im Gegensatz zur Gülle ein organischer Dünger mit hohem P-Gehalt (Samen!) jedoch sehr niedrigem K-Gehalt, was in der Praxis bei der Düngeplanung beachtet werden muss. Daher führte im Versuch eine N-Düngung in Höhe von 240 kg N/ha in Form

von RPS (Var. 3) zwar mit 164 kg P₂O₅/ha zu einer weit über den Pflanzenentzug (80 kg P₂O₅) liegenden P-Zufuhr, jedoch wurden nur 90 kg K₂O/ha gedüngt – dies ist ein Bruchteil der offiziellen Empfehlung (LFL, 2011), die bei rund 270-310 kg K₂O/ha liegt. Dadurch erklären sich auch die generell sehr niedrigen mittleren Kaliumgehalte im Futter (Tab 4), welche auf eine suboptimale und ertragsbegrenzende Kaliversorgung (< 20 g/kg TM) hindeuten. Jedenfalls erreichten andere, gleichfalls vierschnittige Versuchspartzen am Spitalhof bereits bei einer Düngung von 120-135 kg Gesamt-N, verbunden mit 65-120 kg P₂O₅/ha und 155-200 kg K₂O über Gülle oder Minereraldüngung im mehrjährigen Mittel ein Ertragniveau von rund 105 dt TM/ha, welches bei Erhöhung der Düngung (155-200 kg N/ha, 85-145 kg P₂O₅/ha, 155-300kg K₂O) auf ca. 115-130 dt TM/ha anstieg (zit. bei DIEPOLDER, 2012; DIEPOLDER UND SCHRÖPEL, 2003).

4. Schlussfolgerungen

Rapspressschrot besitzt im Grünland eine eine signifikante Düngewirkung, die jedoch deutlich unter der von Mineraldünger liegt. Für eine bedarfsgerechte Düngung ist zudem die im Vergleich zu Gülle hohe P- und sehr niedrige K-Zufuhr zu beachten. Darüberhinaus dürften hohe logistische Anforderungen (Verfügbarkeit, Lager- und Ausbringlogistik, Streutechnik) einen größeren Einsatz in der Praxis stark einschränken.

Literatur

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), 2011: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft, 9. Unveränderte Auflage 2011.
- DIEPOLDER, M., 2012: Standortgerechte Grünlandbewirtschaftung – Möglichkeiten und Grenzen der Intensivierung; Tagungsband der 39. Viehwirtschaftlichen Fachtagung des LFZ Raumberg-Gumpenstein, S. 1-8, ISBN 978-3-902559-77-7.
- DIEPOLDER, M., SCHRÖPEL, R., 2003: Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität bei weidelgrasreichem Dauergrünland. Schule und Beratung, 11/03, s. III-16-18, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten; ISSN 0941-360X.

Zum Potential alternativer Futterpflanzen (Wiesenkräuter und Leguminosen) hinsichtlich des Proteinbindungsvermögens sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe

M. Hamacher, R. Loges und F. Taube

CHRISTIAN-ALBRECHTS UNIVERSITÄT ZU KIEL, INSTITUT FÜR PFLANZENBAU UND PFLANZENZÜCHTUNG, GRÜNLAND UND FUTTERBAU/ÖKOLOGISCHER LANDBAU, Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel, mhamacher@gfo.uni-kiel.de

1. Einleitung und Problemstellung

Grünlandwirtschaft und Ackerfutterbau als Grundlage für Haltung und Ernährung der Wiederkäuer stehen aktuell der Herausforderung einer verbesserten Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) gegenüber. Hohe Stickstoffverluste sind auf hohe ruminale Abbauraten des Futterproteins zurückzuführen und führen neben unproduktiver Belastungen des tierischen Stoffwechsels zu negativen Umweltwirkungen. Insbesondere kleereiche Aufwüchse verfügen über hohe Anteile an schnell löslichem Protein.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der NUE in der Wiederkäuerernährung besteht im Einsatz tanninhaltiger Futtermittel. Der Effekt beruht auf dem Vermögen kondensierter Tannine in Abhängigkeit des pH-Wertes Proteine reversibel zu binden und so den Anteil an pansenstabilem Protein zu erhöhen (JONES und MANGAN, 1977). Neben dem tropischen Quebracho enthalten auch einheimische Futterleguminosen wie Esparsette und Hornklee kondensierte Tannine (HÄRING ET AL., 2008). Kräutern wird neben einer allgemeinen Heilwirkung ein erhöhtes Vorkommen an phenolischen Verbindungen zugesprochen. Bisher fehlt jedoch eine umfassende Beurteilung verschiedener Kräuter- und Leguminosenarten hinsichtlich des Effekts auf den ruminale Proteinabbau.

Ein breites Sortiment an Wiesenkräutern und Futterleguminosen wurde auf die Zusammensetzung des Rohproteins gemäß dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (SNIFFEN ET AL., 1992), die Gehalte an kondensierten Tanninen und Gesamtphenolen, sowie das Bindungsvermögen des Modellproteins Bovines Serum Albumin (BSA) untersucht. Übergeordnetes Ziel des Projektes ist die Analyse des Potentials alternativer Futterpflanzen und Wiesenkräuter zu einer verbesserten Stickstoffnutzung in der Wiederkäuerernährung beizutragen.

2. Material und Methoden

Eine Auswahl von sechs Wiesenkräutern, Deutschem Weidelgras und zehn Futterleguminosen wurde 2009 als Untersaat in Sommergetreide auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsgut „Lindhof“ (sL, durchschnittlich 40 Bodenpunkte) im Split-Plot-Design in drei Wiederholungen etabliert (Tab. 1).

Die Futterqualitätsparameter wurden anhand gefriergetrockneter Proben des ersten Aufwuchses im ersten Hauptnutzungsjahr 2010 bestimmt. Erntezeitpunkt war der 31.05.2010. Die Bestimmung der Stickstofffraktionen A, B1, B2, B3 und C beruht auf dem Verfahren der Nah-Infrarot-Reflex-Spektroskopie. Als Referenzmethode diente die Bestimmung nach LICITRA ET AL. (1996), sowie die Messung des Stickstoffgehalts nach Dumas mit einem CN-Analyser Vario Max (Fa. Elementar).

Tab. 1: Untersuchtes Artenspektrum, Vollparzellen 13*3m

Leguminosen		Nicht-Leguminosen	
Rotklee	<i>Trifolium pratense L.</i>	Dt. Weidelgras	<i>Lolium perenne L.</i>
Gelber Steinklee	<i>Melilotus officinalis L.</i>	Zichorie	<i>Cichorium intybus L.</i>
Galega	<i>Galega orientalis</i>	Kleiner Wiesenknopf	<i>Sangusorbia minor</i>
Espарsette	<i>Onobrychis viciifolia L.</i>	Spitzwegerich	<i>Planteago lanceolata L.</i>
Schwedenklee	<i>Trifolium hybridum L.</i>	Löwenzahn	<i>Taraxacum officinalis L.</i>
Gelbklee	<i>Medicago lupulina L.</i>	Kümmel	<i>Carum Carvi L.</i>
Hornklee	<i>Louts corniculatus L.</i>	Schafgarbe	<i>Achillea millefolium L.</i>
Luzerne	<i>Medicago sativa L.</i>		
Weißklee	<i>Trifolium repens L.</i>		
Weißer Steinklee	<i>Melilotus alba Med.</i>		

Für die weiteren Analysen wurden je zweimal 300 mg des gemahlene Pflanzenmaterials in Aceton extrahiert. Der Gesamtphenolgehalt wurde colorimetrisch mit dem Folin-Ciocalteu-Ansatz nach SINGLETON UND ROSSI (1965) ermittelt. Der Gehalt an kondensierten Tanninen wurde ebenfalls colorimetrisch mittels des Butanol-HCl-Ansatzes nach TERRILL ET AL. (1992) bestimmt. Für die Erfassung des BSA-Fällungsvermögens wurde die Methode von OSBORNE UND MCNEILL (2001) wie folgt modifiziert: BSA wurde entsprechend einer Zielkonzentration von 1,5 mg/ml in Natrium-Acetat-Puffer (pH = 5,0) gelöst. Pflanzenextrakt, Puffer und Aceton wurden in 1950 µl Ansätzen nach einer 15minütigen Ruhezeit bei 2400 x g zentrifugiert. Es folgte das Abpipettieren des Überstandes und Rücklösen der Pellets in 500 µl Acetat-Puffer ohne BSA-Zugabe. Die Bestimmung des Proteins in der Lösung erfolgte nach BRADFORD (1976) mit BioRad Protein Assay (Bio-Rad Laboratories GmbH, München). Der Reaktionsblindwert sowie extrakteigenes Protein wurden jeweils von den Messwerten abgezogen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistik-Software „R“ unter Verwendung eines linear mixed-effects Modells und Grand-Mean-Tests.

3. Ergebnisse und Diskussion

Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Sowohl für den Gesamtphenol- und Tanningehalt, das BSA-Fällungsvermögen, als auch die Verteilung der Stickstofffraktionen konnte ein signifikanter Einfluss der Art nachgewiesen werden.

Entsprechend den Erwartungen konnten für Espарsette und Hornschotenklee überdurchschnittliche Gehalte an kondensierten Tanninen gemessen werden. Alle weiteren Arten erzielten lediglich Gehalte zwischen 0,05% und 0,3% der TM. Eine deutlichere Variation zeigte sich in den Gesamtphenolgehalten (Tab. 2). Für die Kräuter konnten gegenüber den Leguminosen und Deutschem Weidelgras tendenziell höhere Gesamtphenolgehalte gezeigt werden. Ausnahmen bei den Leguminosen bilden Hornklee und Espарsette, deren Gesamtphenolgehalte, die der anderen Leguminosen ums doppelte bzw. fünffache überstiegen. Im Gegensatz zu Espарsette und Hornklee sind die deutlich hohen Phenolkonzentrationen von Schafgarbe, Spitzwegerich, Zichorie, Kümmel und Kleiner Wiesenknopf nicht auf ebenso hohe CT-Konzentrationen zurückzuführen.

Tab. 2: Durchschnittliche Gehalte an kondensierten Tanninen (CT), Gesamtphenolen (GP) und dem BSA-Fällungsvermögen der untersuchten Arten im ersten Aufwuchs 2010. +/- kennzeichnen signifikante Abweichungen vom Gesamtmittel aller Arten ($p < 0,001$).

Art	CT [% i. d. TM]	GP [% i. d. TM]	BSA-Fällungsvermögen [mg gPflanzenTM ⁻¹]
Kümmel	0,04 -	4,44	1,05 -
Dt. Weidelgras	0,04 -	1,58 -	0,03 -
Galega	0,05 -	3,98 -	1,09 -
Gelber Steinklee	0,06 -	1,59 -	2,15 -
Weißer Steinklee	0,06 -	1,67 -	0,98 -
Löwenzahn	0,07 -	3,54 -	2,81 -
Schafgarbe	0,07 -	9,45	0,99 -
Luzerne	0,08 -	1,37 -	0,41 -
Gelbklee	0,09 -	1,62 -	0,57 -
Zichorie	0,09 -	6,14	0,96 -
Weißklee	0,11 -	1,80 -	0,31 -
Rotklee	0,11 -	3,14	0,64 -
Schwedenklee	0,12 -	2,75 -	2,72 -
Kleiner Wiesenknopf	0,17 -	18,56 +	28,15 +
Spitzwegerich	0,30 -	6,61 +	2,01 -
Hornklee	1,93 +	4,80	18,62 +
Espарsette	8,39 +	10,33 +	125,44 +
Mittelwert	0,69	4,90	11,11

Unter gegebenen Versuchsbedingungen konnten für Espарsette, Hornklee und Kleinen Wiesenknopf nennenswerte Mengen an gefälltem BSA ermittelt werden. In Bezug auf alle untersuchten Arten verhalten sich das BSA-Bindungsvermögen und die CT-Konzentration der Arten, ausgenommen des Kleinen Wiesenknopfs gleich gerichtet: Über das gesamte Artenspektrum konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Konzentration an kondensierten Tanninen und dem BSA-Bindungsvermögen festgestellt werden ($R^2 = 0,93$, $p \leq 0,001$). Das Beispiel des Kleinen Wiesenknopfs zeigt jedoch, dass die CT-Konzentration nicht als alleiniges Kriterium zur Bewertung eines potentiellen Bindungsvermögens gelten kann. Neben der CT-Konzentration beeinflussen die Größe und molekulare Zusammensetzung der Tannine das Bindungsvermögen (MUELLER-HARVEY, 2006). Dies zeigt sich in den unterschiedlichen Verhältnissen der CT-Konzentration von Espарsette und Hornklee (4:1) und dem BSA-Fällungsvermögen beider Arten (8:1).

Proteinqualität:

Hohe Gehalte an kondensierten Tanninen in Espарsette und Hornklee werden mit einem geringen Proteinabbau in Verbindung gebracht (SCHARENBERG ET AL. 2005; HEDQVIST ET AL. 2000). Dem Kieler Versuch lag die Hypothese zu Grunde, dass für tanninhaltige Arten eine hinsichtlich der NUE günstigere Verteilung der Stickstofffraktionen (geringere Anteile Fraktion A zu Gunsten der Fraktionen B3 und C) zu erwarten ist. Signifikant überdurchschnittliche Anteile der unerwünschten Fraktion A konnten in abnehmender Reihenfolge für Gelben Steinklee, Kümmel, Weißen Steinklee, Löwenzahn und Rotklee gezeigt werden (Abb. 1). Die im Vergleich zu Leguminosen und Dt. Weidelgras geringeren Anteile der leichtlöslichen Fraktionen A und B1 bei

gleichzeitig höheren Anteilen der langsam bis unlöslichen Fraktionen B3 und C der Kräuter, stehen im Einklang mit einem verringerten ruminalen Proteinabbau kräuterreicher Aufwüchse (ISSELSTEIN ET AL., 2003).

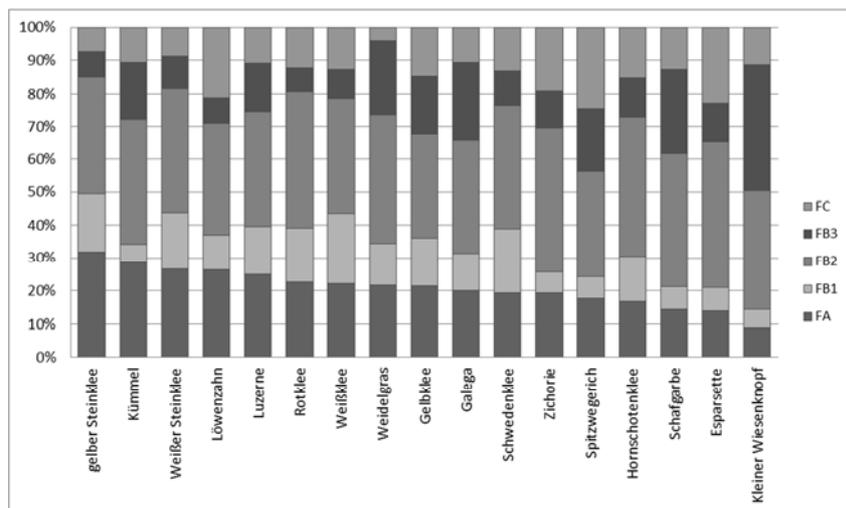


Abb. 1: Verteilung der Stickstofffraktionen (gemessen in g kg N^{-1}) der untersuchten Arten

Im Hinblick auf die Menge des potentiell am Darm verfügbaren Stickstoffs ist der Kleine Wiesenknopf mit knapp 40% Stickstoff in Fraktion B3 und lediglich 15% leicht löslichem Stickstoff positiv hervorzuheben (Abb. 1).

Für Esparsette konnten mit 20% ähnlich geringe Anteile an leicht löslichem Stickstoff, sowie ein deutlich über dem Mittel liegender Anteil an Fraktion C-Stickstoff gesichert werden. Obwohl Fraktion C-Stickstoff dem Tier nicht zur Verfügung steht, ist ein erhöhter Anteil hinsichtlich einer Verschiebung der N-Exkretion und geringer Umweltwirkung des ausgeschiedenen Stickstoffs, sowie einer geringeren Belastung des tierischen Stoffwechsels positiv zu bewerten.

Hornklee zeigte im Vergleich zu Rot-, Weißklee und Luzerne eine günstigere Verteilung des Stickstoffs. Im Gegensatz zur ebenfalls tanninhaltigen Esparsette weist die Verteilung nicht auf einen Proteinschutzmechanismus der enthaltenen Tannine sondern auf eine höhere N-Verfügbarkeit und schnellere Abbaurate hin. Die geringere Konzentration und vermutete geringere Bindungskapazität der CT des Hornklees können als Erklärung herangezogen werden.

4. Schlussfolgerungen

Unter norddeutschen Anbaubedingungen konnten für Esparsette und Hornschotenklee sowohl signifikante Anteile an kondensierten Tanninen, als auch ein entsprechendes BSA-Bindungsvermögen gezeigt werden. Ein Zusammenhang zur Verteilung der Stickstofffraktionen ist lediglich für Esparsette deutlich zu erkennen. Da Leguminosen mit unterdurchschnittlichen Gehalten an kondensierten Tanninen höhere Anteile an Fraktion A und B1 Stickstoff zeigten, ist dennoch davon auszugehen, dass das Vorkommen von kondensierten Tanninen hier einen Einfluss hat. Ebenso ist anzunehmen, dass der Effekt von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen auf die Verteilung der Stickstofffraktionen zwischen Arten stark variiert.

Überraschendes Potential konnte für den Kleinen Wiesenknopf ausgemacht werden. Hier sind die für das BSA-Bindungsvermögen sowie die günstige Proteinverteilung verantwortlichen Verbindungen zu identifizieren.

Um die Einschätzung des Potentials der untersuchten Pflanzen realistischer zu gestalten, ist die Methode zur Messung der Proteinfällungskapazität zu optimieren.

Literatur

- BRADFORD, M. (1976): A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*: 72, 248–254.
- HÄRING, D., SCHARENBERG, A., HECKENDORN, F., DOHME, F., LÜSCHER, A., MAURER, V., SUTER, D. & H. HERTZBERG (2008): Tanniferous forage plants: Agronomic performance, palatability and efficacy against parasitic nematodes in sheep. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 23, 19-29.
- HEDQVIST, H., MUELLER-HARVEY, I., REED, J. D., KRUEGER, C. & M. MURPHY (2000): Characterisation of tannins and in vitro protein digestibility of several Lotus corniculatus varieties. *Animal Feed Science and Technology*: 87, 41-56.
- ISSELSTEIN, J., BONORDEN, S., SENG, M. & H. ABEL (2003): Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffnutzung von klee- und kräuterreichen Aufwüchsen ökologisch bewirtschafteten Grünlands. Georg-August Universität Göttingen. Forschungs- und Studienzentrum für Landwirtschaft und Umwelt.
- JONES, W. T. und MANGAN, J. L. (1977): Complexes of the condensed tannins of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* scop.) with fraction 1 leaf protein and with submaxillary mucoprotein, and their reversal by polyethylene glycol and pH. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 28, 126–136.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M. & P.J. VAN SOEST (1996): Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*: 57, 347-358.
- MUELLER-HARVEY, I. (2006): Unraveling the conundrum of tannins in animal and nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 86, 2010-2037.
- OSBORNE, N. und MCNEILL, D. (2001): Characterisation of Leucaena condensed tannins by size and protein precipitation capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 81, 1113-1119.
- SCHARENBERG, A. und ARRIGO, Y. (2005): Verdaulichkeit und abbaubarkeit von Rohprotein einheimischer tanninhaltiger Futterpflanzen. In: Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (ed.): 52. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau: 160-163.
- SINGELTON, V. und ROSSI, J. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology & Viticulture*: 16, 144-158.
- SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J. D., VAN SOEST, P. J., FOX, D. G. & J. B. RUSSELL (1992): A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*: 70, 3562-77.
- Terril, T. H., Rowan, A. M., Douglas, G. B. & T. N. Barry (1992): Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 58, 321-329.

Einfluss des Schnittzeitpunktes auf Ertrag und Qualität von Futtergräsern

A. Swieter¹, B. Ohnmacht¹, S. Moenickes² und J.-M. Greef¹

¹JULIUS KÜHN INSTITUT (JKI), INSTITUT FÜR PFLANZENBAU UND BODENKUNDE, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, e-mail: anita.swieter@jki.bund.de

²TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUSCHWEIG, INSTITUT FÜR GEOÖKOLOGIE

1. Einleitung und Problemstellung

Neben Mais wird auch Gras als geeigneter Rohstoff zur Erzeugung von Biogas eingesetzt. Besonders auf Marginalstandorten, aber auch durch die Beschränkung der Maissilagevergärung in Biogasanlagen durch das Erneuerbar-Energien-Gesetz (EEG), gewinnt Gras als Biogaslieferant an Bedeutung. Mit dem Projekt „Entwicklung der Produktlinie Futterpflanzen als Biomasselieferant – Züchtung, Schnittzeitpunkt, Nutzungssystem, Konservierung und Einsatz von Futtergräsern in der Biogasproduktion“ soll in vier Teilprojekten die gesamte Produktlinie von der Züchtung bis zur Fermentation abgedeckt und die Gewinnung von Biogas aus Futtergräsern optimiert werden. Im Teilprojekt „Züchtung“ werden dafür leistungsfähige Experimentalhybride von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) entwickelt. Im Teilprojekt „Nutzungssystem“ soll geprüft werden, inwieweit der Faktoreinsatz N-Düngung und Schnitzzahl beim Anbau verschiedener Futtergrasarten und -sorten reduziert werden kann. In einem weiteren Teil wird der Biogasertrag ausgewählter Grasarten und -sorten ermittelt und untersucht, ob dieser durch den Zusatz angepasster Mikroorganismen erhöht werden kann.

Im Teilprojekt „Schnittzeitpunkt“ soll für eine maximale Gasausbeute für verschiedene *Lolium perenne*-Sorten mit unterschiedlichen Reifezeiten, einschließlich der Hybriden, der optimale Schnittzeitpunkt ermittelt werden. Dazu soll ein Modell für die Ertrags- und Qualitätsentwicklung dieser Sorten entwickelt werden, das auch die entscheidenden Standorteigenschaften berücksichtigt. Für die Modellparametrisierung wurde im Rahmen dieses Teilprojekts ein Zeitreihenernterversuch angelegt, in dem die sortenspezifische Ertrags- und Inhaltsstoffentwicklung an unterschiedlichen Standorten untersucht wird. Anhand der Versuchsergebnisse soll zum einen geklärt werden, ob sich die Sorten in ihrer Entwicklung unterscheiden und zum anderen, ob sich eine Unterscheidbarkeit ggf. auch im Modell widerspiegelt.

2. Material und Methoden

Der Zeitreihenernterversuch wurde 2010 mit acht *Lolium perenne*-Sorten in Braunschweig und an den Züchterstandorten Asendorf, Malchow und Steinach mit den Hauptnutzungsjahren 2011 und 2012 angelegt. Die Sorten unterscheiden sich in der Reifezeit um maximal 22 Tage (Tab. 1). Die Zeitreihenernten 2011 erfassten den ersten Schnitt in der Zeit vom 26.04. bis 10.06. und den dritten Schnitt in der Zeit vom 30.07. bis 02.09. mit je zehn Ernteterminen im Abstand von fünf bzw. vier Tagen. Der Versuch wurde als randomisierte Blockanlage mit zwei Wiederholungen angelegt. An jedem Erntetermin wurden das Entwicklungsstadium jeder Sorte nach der BBCH-Skala (MEIER, 1997) und der Mean Stage by Count-Methode (MOORE *et al.*, 1991), die Ertragsdaten (Frischmasse, Trockenmasse, Trockensubstanz) und die Qualitätsmerkmale (Rohprotein, Rohfaser, Zucker, enzymlösliche organische Substanz,

Rohasche) mit einem Nahinfrarot-Spektrometer (Modell 5000, Foss GmbH, Hamburg, Germany) ermittelt. Zusätzlich wurden an jedem Standort Wetterdaten (Tagesmitteltemperatur, Niederschlag, Bodenfeuchte) erhoben.

An die Ertragsdaten der Zeitreihenernte zum ersten Schnitt 2011 wurde mit dem Programm Matlab 2011b (Mathworks[®], Natick, USA) ein logistisches Wachstumsmodell angepasst, das die zeitliche Änderung des Ertrags y [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] mit der Wachstumsrate r_{\max} [d^{-1}] und dem standortbezogenen Ertragsmaximum y_{\max} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] beschreibt. Zur besseren Sorten- und Standortdifferenzierung wurde es um eine Temperaturresponse ϕ_{Temp} und eine Bodenfeuchteresponse ϕ_{BF} erweitert: $dy/dt=r_{\max}*\phi_{\text{Temp}}*\phi_{\text{BF}}*y*(1-y/y_{\max})$. Die glockenförmige Temperaturresponse nach Oneill (KRENEK *et al.*, 2011) berücksichtigt die Optimumstemperatur T_{opt} und den Temperaturkoeffizienten Q_{10} . Als Bodenfeuchteresponse wurde eine Weibull-Verteilung mit einer kritischen Bodenfeuchte angenommen.

Als sortenspezifische Parameter wurden die Wachstumsrate r_{\max} und der Temperaturkoeffizient Q_{10} mit dem lokalen Optimierungsalgorithmus in Matlab angepasst. Die optimale Wachstumstemperatur T_{opt} wurde nach Erfahrungswerten für die frühen, mittleren und späten Sorten festgelegt. Die weiteren Parameter sind für alle Sorten identisch.

Tab. 1: *Lolium perenne*-Sorten im Zeitreihenernterversuch, ihre Reifezeit, die im Modell festgelegte optimale Wachstumstemperatur T_{opt} sowie die vom Wachstumsmodell angepassten Parameter r_{\max} (Wachstumsrate) und Q_{10} (Temperaturkoeffizient).

Sorte	Ährenschieben* [Tage nach 1.4.]	T_{opt} [°C]	r_{\max} [d^{-1}]	Q_{10} [°C ⁻¹]
Lipresso	41	16	0,14±0,01	2,14±0,38
Abersilo	46	16	0,14±0,01	1,86±0,37
Aubisque	50	17	0,17±0,00	2,45±0,13
Respect	51	17	0,19±0,01	2,98±0,20
Fennema	52	17	0,18±0,01	2,67±0,19
Bargala	52	17	0,18±0,01	2,87±0,19
Aberavon	59	18	0,18±0,01	2,58±0,18
Sponsor	63	18	0,19±0,01	2,86±0,13

* BSA (2009)

3. Ergebnisse und Diskussion

Die spezifische Entwicklung der acht *Lolium perenne*-Sorten verlief am Standort Braunschweig zu Beginn des ersten Aufwuchses ähnlich, im Laufe der Zeitreihenernte wiesen die Sorten jedoch sehr unterschiedliche Entwicklungsstadien auf, wobei sich besonders die frühen Sorten Lipresso und Abersilo von den späteren Sorten Sponsor, Aberavon und Bargala abhoben (Abb. 1).

Bei der Trockenmasse zeigte die sortenspezifische Ertragsentwicklung während des ersten Aufwuchses ebenfalls zunehmende Unterschiede (Abb. 1), deren statistische Signifikanz auf Grund des geringen Stichprobenumfangs jedoch nicht ermittelt werden konnte. Sortenunterschiede, vor allem zwischen frühen und späten Sorten, zeigten sich jedoch im unterschiedlichen Erreichen bzw. Überschreiten des Ertragsmaximums während der Zeitreihenernte.

Bei der Inhaltsstoffentwicklung nahm bei den frühen Sorten der Rohproteingehalt schneller ab als bei den späten Sorten. Umgekehrt stieg bei den frühen Sorten der

Rohfasergehalt schneller an (Abb. 1). Dies deutet ebenfalls auf eine Unterscheidbarkeit, besonders der frühen von den späten Sorten hin.

Das erweiterte Wachstumsmodell konnte für alle Versuchsstandorte und Sorten gut an die beobachteten Trockenmasseerträge des ersten Aufwuchses angepasst werden (Abb. 2). Das Bestimmtheitsmaß des Modells R^2 betrug im Mittel über die Sorten 0,99. Die Unterschiede in der Ertragsentwicklung zwischen frühen und späten Sorten wurden auch vom Modell durch tendenziell von den frühen zu den späten Sorten ansteigende Wachstumsraten bzw. Temperaturresponsen wiedergegeben (Tab. 1). Außerdem zeigte sich in der Ertragsentwicklung aller Sorten eine Differenzierung des Standortes Steinach (Niederbayern/ Donauebene) von den anderen im norddeutschen Tiefland gelegenen Standorten.

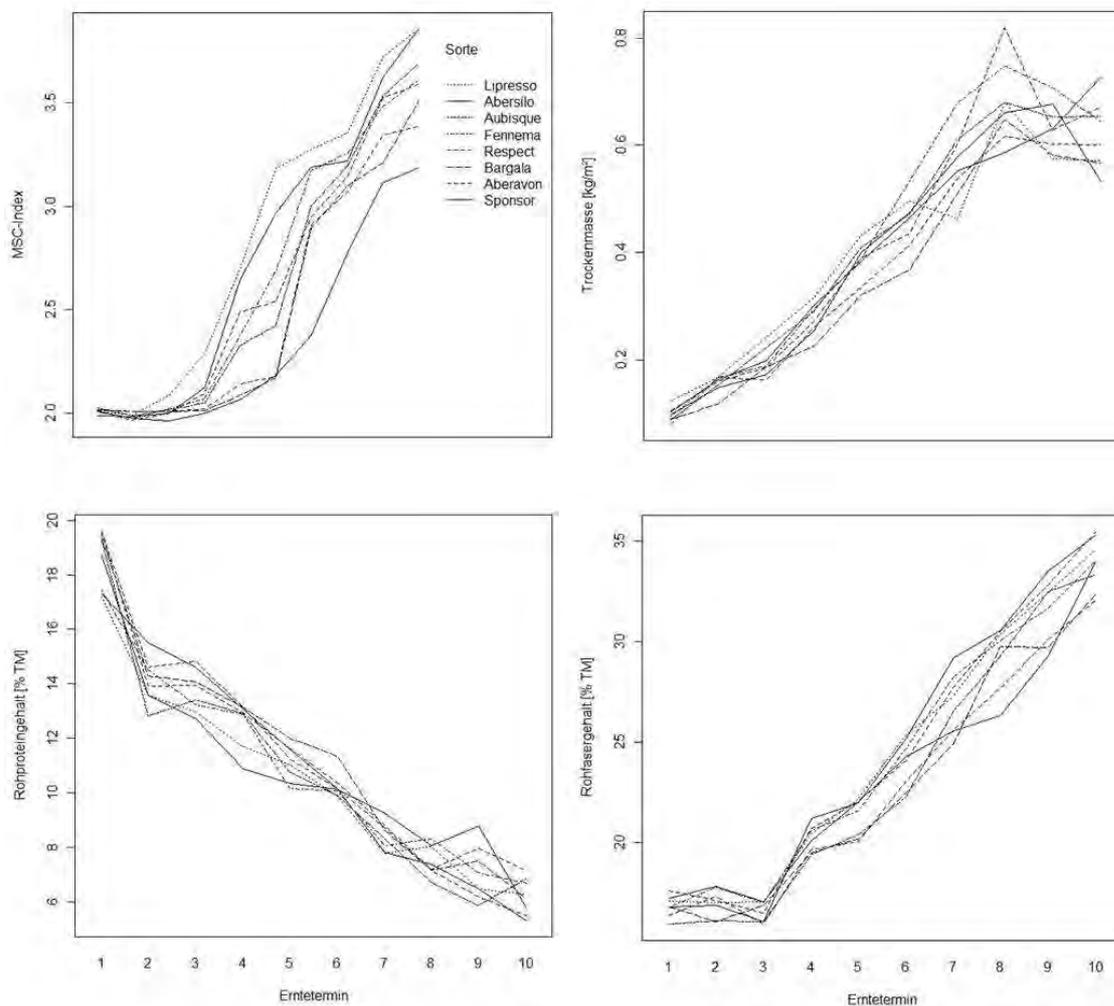


Abb. 1: Entwicklung des Mean Stage by Count (MSC)-Index (oben links), der Trockenmasseerträge (oben rechts) und der Inhaltsstoffe Rohprotein und Rohfaser (unten) der *Lolium perenne*-Sorten am Standort Braunschweig während des ersten Aufwuchses 2011 (Mittelwerte). Die Ernte erfolgte in einem Intervall von 5 Tagen ab dem 26.04.2011.

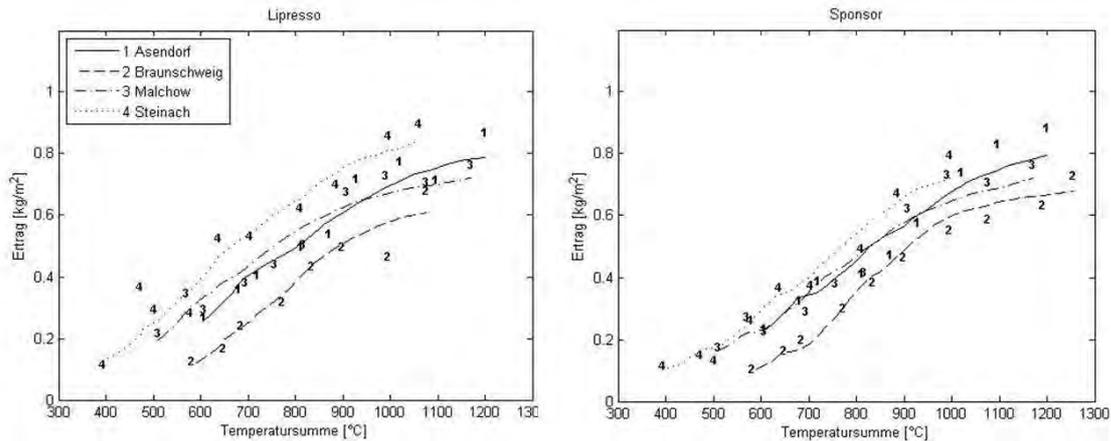


Abb. 2: Trockenmasseerträge und modellierte Ertragsentwicklung der frühen Sorten Lipresso und der späten Sorte Sponsor an den vier Versuchsstandorten über die Temperatursumme seit dem 01.01.2011.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres zeigen, dass mit dem beschriebenen Wachstumsmodell eine gute Anpassung an die Ertragsdaten von *Lolium perenne*-Sorten mit unterschiedlicher Reifezeit erzielt werden kann. Es kann somit zur Sortendifferenzierung und Ermittlung sortenspezifischer Schnittzeitpunkte für eine optimale Biogasausbeute beitragen. Mit weiteren Datensätzen soll das Wachstumsmodell validiert und optimiert werden. Des Weiteren soll mit dem Modell eine Anpassung an die beobachtete Inhaltsstoffentwicklung wie Rohprotein- und Rohfasergehalt erfolgen.

Die Biogasausbeute von Futtergras liegt nach vorläufigen Ergebnissen aus dem Jahr 2011 aus dem Teilprojekt „Nutzungssystem“ bei ca. 380 l_N Methan/kg oTS. Inwieweit neben einem optimierten Schnittzeitpunkt auch durch verbesserte Futtergrassorten und die Zugabe von grasspezifischen Mikroorganismen der Biogasertrag erhöht werden kann, werden die Ergebnisse der anderen Teilprojekte bis zum Ende der Projektlaufzeit 2013 zeigen. Ob eine im Versuchsjahr 2011 beobachtete Hemmung der Vergärung durch hohe Proteingehalte im kontinuierlichen Fermenter durch pflanzenbauliche Maßnahmen bzw. Sortenauswahl reduziert werden kann, könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

5. Dank

Wir danken den Kooperationspartnern EuroGrass Breeding GmbH & Co. KG, Norddeutsche Pflanzenzucht H.-G. Lembke KG und Saatzucht Steinach GmbH für die Bereitstellung der Versuchsdaten und des Probenmaterials. Das Forschungsvorhaben wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. und der Gemeinschaft zur Förderung der privaten deutschen Pflanzenzüchtung e.V. (GFP) gefördert (Förderkennzeichen: FNR 22016209).

Literatur

- BSA (2009): Beschreibende Sortenliste 2009-Futtergräser, Espарsette, Klee, Luzerne. *Bundessortenamt* (Hrsg.), Hannover.
- KRENEK, S., BERENDONK, T.U. und PETZOLDT, T. (2011): Thermal performance curves of *paramecium caudatum*: A model selection approach. *Eur. J. Protistol.* 47, 124-137
- MEIER, U. (Ed.) (1997): BBCH-Monograph. Growth Stages of plants. *Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien*, 622 p.
- MOORE, K.J., MOSER, L.E., VOGEL, K.P., WALLER, S.S., JOHNSON, B.E. und PEDERSEN, J.F. (1991): Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. *Agron. J.* 83, 1073-1077.

Auswirkungen von Mahd oder Beweidung mit Schafen, Schweinen, Pferden oder Rindern auf die botanische Diversität von Dauergrünland

I. Leuschner¹, N. Wrage², J. Isselstein¹

¹DEPT. FÜR NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTL. GRASLANDWISSENSCHAFT,
GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN,
ina.leuschner@agr.uni-goettingen.de

²FAKULTÄT LIFE SCIENCES, AGRARWISSENSCHAFTEN, HOCHSCHULE RHEIN-WAAL,
Kleve

1. Einleitung und Problemstellung

Die Beweidung von Grünland ist in Deutschland weiterhin rückläufig, wobei sie durch das Verhalten der Weidetiere einen wertvollen Beitrag zur Biodiversität darstellt und zur Sicherung der Lebensräume von Pflanzen und Tieren beitragen kann (vgl. POSCHLOD und SCHUMACHER, 1998). Mittels unterschiedlichen Selektierens von Futterpflanzen, Nährstoffrückführens und verschiedener mechanischer Einflüsse können heterogene Weidestrukturen entstehen, welche sich positiv auf die Artenvielfalt und -zusammensetzung auswirken können. Hierbei können verschiedene Weidetiere unterschiedliche Effekte auf die pflanzliche Zusammensetzung haben (Tab. 1; vgl. KLAPP, 1971). Bislang gibt es keine systematisch angelegten Untersuchungen, in denen die Einwirkungen von vier verschiedenen Weidetierarten und der Mahd auf Grünlandflächen miteinander kombiniert und verglichen wurden. Das Ziel der Studie war es, den Einfluss der Beweidung mit verschiedenen Nutztieren bzw. der Mahd auf die botanische Diversität von Dauergrünland zu untersuchen. Als Indikator der Heterogenität der Weidestruktur wurde vorrangig die β -Diversität herangezogen.

Tab. 1: Einwirkungsintensität und zu erwartende Weidestruktur bei Nutzung des Grünlandes als Mähwiese, Schweine-, Pferde-, Schaf- oder Rinderweide.

	Selektive Entblätterung	Räumlich differenzierte Nährstoffrückführung	Weidestruktur
Mahd	keine	keine	homogen
Rind	gering	mittel	↓ heterogen
Schaf	mittel	gering	
Pferd	mittel	hoch	
Schwein	hoch	hoch	

2. Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde in praktizierenden landwirtschaftlichen Betrieben beobachtend durchgeführt. Es wurden 12 Quintette mit je einer Mähwiese, einer Rinder-, einer Schaf-, einer Pferde- und einer Schweineweide gebildet. Als Auswahlkriterien dienten vordringlich die Beweidung mit nur einer Tierart, die Tatsache der Sommerweide, das Alter der Grünlandfläche sowie die Nähe zu den restlichen Flächen des Quintetts. Die einzelnen Paddocks innerhalb eines Quintetts lagen maximal 5 km auseinander. Die Quintette waren maximal 120 km voneinander entfernt und befanden sich im süddeutschen Raum zwischen Karlsruhe, Schwäbisch Hall und Volkach.

Alle Untersuchungsflächen wurden seit mindestens drei Jahren der aktuellen Nutzung entsprechend bewirtschaftet und wurden seit mindestens fünf Jahren nicht umgebrochen. Es handelte sich sowohl um konventionelle als auch ökologisch wirtschaftende Betriebe im Haupt- und Nebenerwerb oder um Hobbybetriebe. Das Weide- und Wiesenmanagement wurde mittels Fragebogen detailliert erhoben. Im Frühjahr 2011 wurden je Paddock auf drei zufällig gewählten Subplots (3 x 3 m², mind. 15 m von Bäumen und mind. 2 m vom Rand entfernt) Bodenproben zur Nährstoffanalyse entnommen und Vegetationsaufnahmen nach Klapp-Stählin (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979) durchgeführt. Um die räumliche Heterogenität besser zu erfassen, wurden letztere auch auf Transekten entlang der längsten Diagonale der Flächen aufgenommen. Die mittlere Artenzahl der Subplots ergab die α -Diversität [Artenzahl (9 m²)⁻¹], die Summe der Arten von Subplots und Transekt die γ -Diversität [Artenzahl (27 m² + Transektgröße)⁻¹]. Die Differenz stellte jeweils die β -Diversität dar. Die Bestandsaufnahmen erfolgten im Regelfall vor der ersten Beweidung oder Mahd im Jahr. Die Mittelwertvergleiche wurden mittels t-Test (5%-Signifikanzniveau) durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Bei den Schweineweiden war bezüglich der Weidegröße und Beweidungsintensität eine hohe Variabilität und im Vergleich zu den anderen Weiden ein hoher Weidetierbesatz zu beobachten (Tab. 2). Dieser z.T. hohe Tierbesatz auf den Schweineweiden ist positiv mit den Werten der Bodennährstoffanalyse korreliert (P₂O₅, r = 0,88; K₂O, r = 0,52) und erklärt die erhöhten Werte von P₂O₅ und K₂O. Der Deckungsanteil an Gefäßpflanzen war auf den Schweineweiden um etwa 10% geringer als auf den übrigen Flächen. Es traten mehr Bereiche mit offenem Boden und/oder Steinen auf. Dies kann durch das Verhalten von Schweinen im Freiland erklärt werden, wobei die offenen Stellen durch Wühlen und Liege-/Sonnenflächen entstehen können (vgl. FLEGLER et al., 2005) (Vgl. Tab.2).

Die durchschnittliche Gesamtartenzahl (γ -Diversität) war auf den Schweineweiden signifikant höher als bei den Mähwiesen, Rinder- und Pferdeweiden (p = 0,01 - 0,03), wobei zu den Schweineweiden sowohl die artenärmsten (22 Arten) als auch die artenreichsten (102 Arten) Flächen gehörten. BEINLICH et al. (2001) beschreiben ebenfalls eine erhöhte Gesamtartenzahl auf Schweineweiden. Diese ist durch das Aufreißen der Grasnarbe zu erklären (MICKLICH et al., 1996). Die Schweineweiden unterscheiden sich bezüglich der β -Diversität signifikant von Mähwiesen, Rinder-, Schaf- und Pferdeweiden (p = 0,004 - 0,014) und wiesen im Vergleich zu diesen eine höhere Heterogenität auf. Entgegen den Erwartungen (Tab. 1) war die β -Diversität bei Mähwiesen, Rinder-, Schaf- und Pferdeweiden ähnlich (Abb. 1). Weitere Managementeinflüsse und die Variationsbreite der Umweltfaktoren auf den Flächen könnten hier einen stärkeren Einfluss als die Weidetiere gehabt haben. Die α -Diversität unterschied sich nur gering zwischen den verschiedenen Varianten; jedoch zeichneten sich Schaf- und Schweineweiden durch eine große Variabilität aus (Abb. 1).

Tab. 2: Charakteristika der untersuchten Mähwiesen, Rinder-, Schaf-, Pferde- und Schweineweiden. Gezeigt werden Minima (min.), Maxima (max.) und Mittelwerte (\bar{x}). N = 12. GV = Großvieheinheit. TS = Trockensubstanz.

	Mahd		Rind		Schaf		Pferd		Schwein	
	min. - max.	\bar{x}								
Flächen- größe [ha]	0,09-9,9	1,9	0,06-4,4	2,2	0,09-1,3	0,5	0,07-1,5	0,5	0,05-23	2,2
Tierbesatz [GV ha ⁻¹ a ⁻¹]	-	-	0,2-6,9	2,2	0,08-1,3	0,8	0,3-3,4	1,3	0,2-44	6,9
Deckungsgradanteile [%]										
Gefäß- pflanzen	86-100	95	75-100	93	75-100	93	67-100	94	38-100	83
Krypto- gamien	0-4	0	0-2	0	0-20	1	0-1	0	0-5	0
Steine	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	0
Streu	0-10	2	0-10	2	0-7	2	0-15	2	0-21	3
offener Boden	0-7	2	0-25	5	0-15	3	0-30	4	0-40	12
pH										
	4,9-7,3	6	5-7,4	6,4	5-7,4	6,2	5,1-7,6	6,4	5,3-7,5	6,5
Nährstoffe [mg/100 g TS]										
P ₂ O ₅	2-22,4	7,7	2,9-60	19	2,5-52,6	13,9	2,1-72,2	22,8	6,2-193,8	35,8
K ₂ O	2,9-54,1	19,9	3,3-76,9	32,5	5-53,2	24,2	7-97,8	30,7	2,7-147	44,3
Mg	8,2-66,1	23,5	7,9-61,9	23	5,5-63,9	20,3	7,6-61,2	21,8	8,9-64,8	21,9

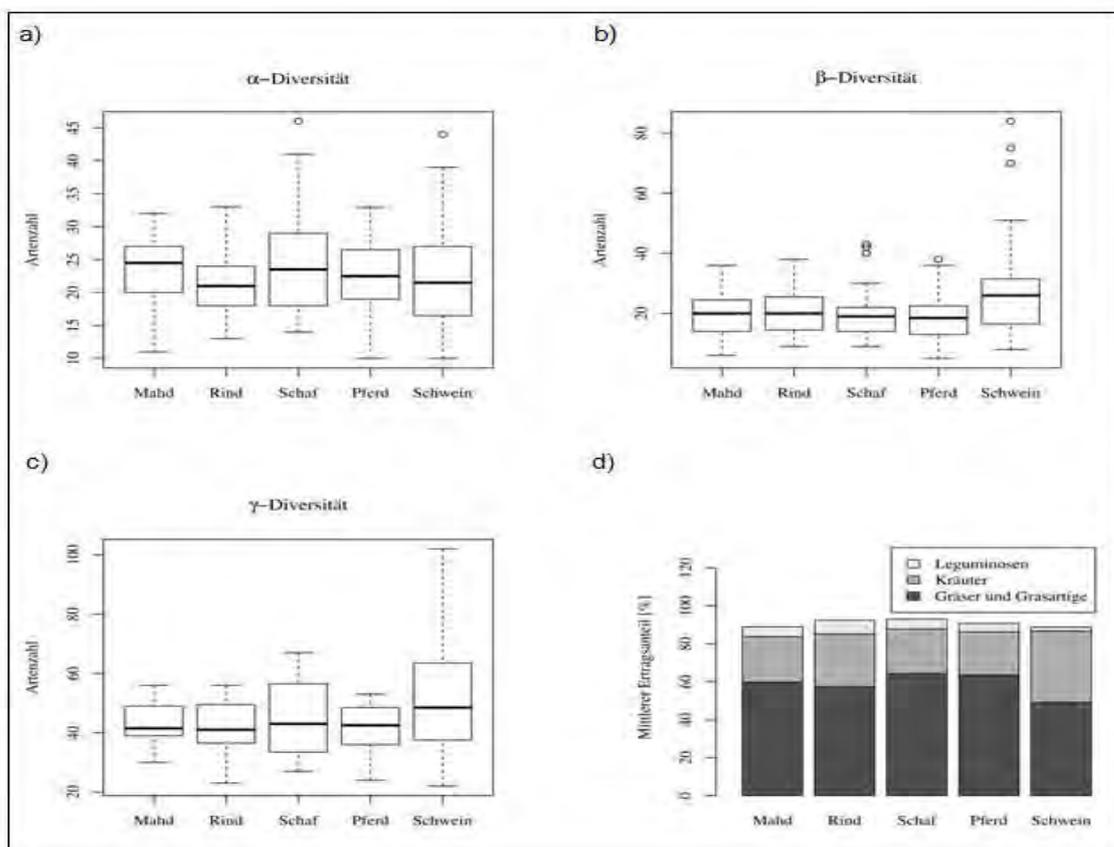


Abb. 1: a-c) α -, β - und γ -Diversitäten sowie d) mittlere Ertragsanteile von Kräutern, Leguminosen, Gräsern und Grasartigen für Nutzungen der Grünländer als Mähwiese, Rinder-, Schaf-, Pferde- oder Schweineweide. N = 12.

Die durchschnittlichen Ertragsanteile von Gräsern und Grasartigen, Kräutern sowie Leguminosen zeigten ebenfalls nur bezüglich der Schweineweiden eine Tendenz, wobei hier die Anteile an Kräutern erhöht und die Anteile an Gräsern und Grasartigen sowie Leguminosen vermindert waren (Abb. 1). Dies stimmt mit den Beobachtungen von FLEGLER et al. (2005) überein, wobei die Wühlaktivität der Schweine spezielle Kräuter fördert, die zugleich bei der Nahrungsaufnahme eher gemieden werden.

4. Schlussfolgerungen

Bewirtschaftung mit Schweinen kann potentiell besser als Mahd oder Bewirtschaftung mit Rindern, Schafen oder Pferden geeignet sein, die botanische Vielfalt von Grünlandflächen zu erhöhen. Hierbei wird vor allem der Ertragsanteil von Kräutern gegenüber Leguminosen und Gräsern/Grasartigen gefördert. Allerdings nimmt auch der Anteil an offenem Boden zu, was zusammen mit der Förderung von Kräutern eine höhere Gefahr der Verunkrautung mit sich bringt. Die Schwankung in der Gesamtartenzahl auf Schweineweiden ist erstaunlich hoch, so dass weitere Untersuchungen und Betrachtungen der Artzusammensetzung sowie der Verteilung von Strategietypen notwendig sind, um zu klären, unter welchen Umständen die Beweidung mit Schweinen die botanische Diversität verlässlich erhöhen kann.

Literatur

- BEINLICH, B., HILL, B., KÖSTERMEYER, H., BECK, L. UND VAN RHEMEN, K. (2001): Schweinefreilandhaltung in der Landschaftspflege – ein Überblick zum aktuellen Kenntnisstand. In: Egge-Weser 14: 15-30.
- FLEGLER, J., BEINLICH, B., VAN RHEMEN, K., KÖSTERMEYER, H., HILL, B.T. und BECK, L.A. (2005): Untersuchungen zur Raum-Zeit-Nutzung, Tagesaktivität und Nahrungswahl extensiv gehaltener Weideschweine. In: Neugebauer, K. R.; Beinlich, B. und Poschlod, P.: *Schweine in der Landschaftspflege – Geschichte, Ökologie, Praxis*. NNA-Ber. 18(2): 58-67.
- KLAPP, E. (1971): Wiesen und Weiden. Eine Grünlandlehre Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- MICKLICH, D., MATTHES, H.-D. und MÖHRING, D. (1996): Einfluss verschiedener Schweinerassen auf die natürliche Sukzession. 2. Lenzener Gespräche – Landschaftspflege mit Nutztieren und nachhaltige Landbewirtschaftung. Dummerstorf/Lenzen: 101-108.
- POSCHLOD, P. UND SCHUMACHER, W. (1998): Rückgang von Pflanzen und Pflanzengesellschaften des Grünlandes - Gefährdungsursachen und Handlungsbedarf. Schriftenreihe für Vegetationskunde 29, 83-99.
- VOIGTLÄNDER, G. und VOSS, N. (1979): Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. Grünland – Feldfutterbau – Rasen. Ulmer Stuttgart.

Die Kohlenstoff-Verweildauer der oberirdischen Biomasse einer intensiven Weide ist durch die Blattlebensdauer der dominanten Arten bestimmt

I. Schleip, F. Lattanzi, H. Schnyder

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN, LEHRSTUHL FÜR GRÜNLANDLEHRE,
Alte Akademie 12, 85350 Freising
schnyder@wzw.tum.de

1. Einleitung und Problemstellung

Die oberirdische Biomasse ist ein Kompartiment im Kohlenstoffkreislauf eines Grasland-Ökosystems. Die Kenntnis der Kohlenstoff-Verweildauer in der oberirdischen Biomasse ist unerlässlich, um den Kohlenstoffkreislauf im Grasland-Ökosystem und der gesamten terrestrischen Biosphäre zu verstehen (SCHIMMEL, 1995).

Mithilfe von kontinuierlichen ^{13}C -Markierungsversuchen in einem kürzlich entwickelten Kammersystem (GAMNITZER *et al.*, 2009) testeten wir auf einer Kurzrasenweide die Hypothesen, dass

- (1) die Pflanzentriebe hinsichtlich des Kohlenstoffumsatzes mit einem einfachen 2-Pool-Modell beschreibbar sind, bestehend aus einem nicht-strukturellen Pool (unter anderem wasserlösliche Kohlenhydrate und Speicherkohlenhydrate wie Fruktane und Stärke) und einem strukturellen Pool (Zellwandbestandteile wie Zellulose, Hemicellulose und Lignin), und
- (2) die Kohlenstoffverweildauer in dem strukturellen Pool in etwa der Länge der Blattlebensdauer der Arten entspricht.

2. Material und Methoden

Drei Markierungsversuche fanden auf dem Versuchsbetrieb Grünschwaige in der Nähe von Freising im Herbst 2006 und im Frühjahr und Herbst 2007 für jeweils 15 – 16 Tage statt. Hierbei wurden vier Plexiglas-Kammern, die durch einen offenen Deckel als Durchflusssystem konzipiert waren (GAMNITZER *et al.*, 2009), auf eine Mutterkuh-Kurzrasenweide gestellt und tagsüber kontinuierlich mit ^{13}C -abgereicherter Luft konstanter Isotopie durchspült. An sieben bis acht Terminen wurden über die gesamte Markierungsdauer hinweg lebende Triebe und, wenn möglich, tote, den Trieben anhaftende Blätter der dominierenden Arten *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Taraxacum officinale* und *Trifolium repens* und Proben der gesamten lebenden oberirdischen Biomasse (Bestand) gesammelt und in einem Massenspektrometer auf ihre Kohlenstoffisotopie hin untersucht.

Mithilfe der photosynthetischen Diskriminierung, die an Kontrollpflanzen außerhalb der Kammern gemessen wurde, konnte der Anteil markierten und unmarkierten Kohlenstoffs in den Proben zu jedem Beprobungstermin berechnet werden.

An die Markierungsverläufe wurde ein 2-Pool Modell gefittet, in dem der nicht-strukturelle Pool von den Assimilaten der Photosynthese und der strukturelle Pool während des Blattwachstums aus dem nicht-strukturellen Pool gespeist werden. Während der nicht-strukturelle Pool einen gut durchmischten Pool darstellt, folgt der

strukturelle Pool einem first-in-first-out-Prinzip und verliert den im Wachstum gespeicherten Kohlenstoff erst mit Absterben der Blätter.

Die zu diesem Modell gehörige Gleichung lautet

$$f_{\text{new}}(t) = (1 - a) * (1 - \text{EXP}(-b * t)) + a * 1/MRT_{\text{C-Structural}} * (t + 1/b * \text{EXP}(-b * t) - 1/b) \quad (1)$$

wobei $f_{\text{new}}(t)$ der Anteil des neuen Kohlenstoffs zum Zeitpunkt t , a der Anteil des strukturellen Pools am Gesamtkohlenstoff, b die Umsatzrate des nicht-strukturellen Pools und $MRT_{\text{C-Structural}}$ die Verweildauer des Kohlenstoffs in dem strukturellen Pool der Probe darstellt. Der Zusammenhang zwischen dem Anteil unmarkierten (f_{old}) und markierten Kohlenstoffs ist durch $f_{\text{old}}(t) = 1 - f_{\text{new}}(t)$ gegeben.

Als Abschätzung des Anteils an strukturellem Kohlenstoff am Gesamtkohlenstoff (a in Gleichung (1)) wurde den Proben heißwasserlöslicher Kohlenstoff und Stärke-Kohlenstoff entzogen und der zurückbleibende Kohlenstoff als struktureller Kohlenstoff definiert. Nach dieser Methode betrug der Anteil strukturellen Kohlenstoffs etwa 65% ohne wesentliche Abweichungen zwischen den Arten und Jahreszeiten. Gleichung (1) wurde mit den Werten 0.6, 0.65 und 0.7 für a an die Datensätze angepasst, während $MRT_{\text{C-Structural}}$ und b hinsichtlich eines minimalen RMSE optimiert wurden.

Zusätzlich wurde das Blatterscheinungsintervall und die Anzahl lebender Blätter pro Trieb an 10-12 Trieben pro Art innerhalb der Kammern direkt beobachtet und die Blattlebensdauer anhand der Gleichung

Blattlebensdauer = Blatterscheinungsintervall * Anzahl lebender Blätter pro Trieb (2) berechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Fit des 2-Pool Modells (Gleichung (1)) an die Markierungsverläufe (Abb. 1) ergab signifikante Ergebnisse für die Verweildauer von Kohlenstoff im nicht-strukturellen und strukturellen Pool. Desweiteren zeigten Berechnungen des Akaike Information Criterion, dass das 2-Pool Modell einfacheren Modellen ebenbürtig oder leicht überlegen war und komplizierteren Modellen deutlich überlegen. Dies zeigt, dass das 2-Pool Modell trotz seiner Vereinfachung grundlegende Funktionen des Kohlenstoffumsatzes der Pflanzentriebe wiederzuspiegeln vermag. Unterstützend für die Theorie des first-in-first-out-Prinzips für den strukturellen Kohlenstoff-Pool kommt hinzu, dass die toten Blätter der Pflanzen bis zuletzt keinen markierten Kohlenstoff enthielten (Abb. 1), da im Zeitraum der ^{13}C -Markierungen offensichtlich nur Blätter abstarben, die schon vor Beginn der Markierung ihren Kohlenstoff zum Wachstum erhalten hatten.

Die Verweildauer von Kohlenstoff im nicht-strukturellen Pool ($1/b$), betrug zwischen 4 und 6 Tagen (Standardfehler etwa 0.7 Tage) ohne signifikante Unterschiede zwischen den Arten oder Jahreszeiten. Die modellierte Verweildauer von Kohlenstoff im strukturellen Pool ($MRT_{\text{C-Structural}}$) betrug 21 bis 38 Tage (Standardfehler im Herbst und Frühjahr etwa 3.5 und 8) mit Ausnahme von *T. officinale* im Herbst 2006 und *P. pratensis* im Frühjahr 2007 mit über 100 Tagen (Abb. 2). Diese beiden Datensätze wichen auch im Anteil des unmarkierten Kohlenstoffs (etwa 60% nach 2 Wochen) von den übrigen Datensätzen (etwa 40-50% nach 2 Wochen) ab (Abb. 1). Ohne Be-

rücksichtigung dieser beiden Datensätze variierte die Kohlenstoffverweildauer im strukturellen Pool demnach um 17 Tage, aber es zeigten sich keine systematischen Unterschiede zwischen den Arten und Jahreszeiten. Die beobachtete Blattlebensdauer variierte in etwa zwischen 30 und 50 Tagen, ebenso ohne systematische Unterschiede zwischen Arten und Jahreszeiten.

Im Rahmen der Fehlergrenzen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der modellierten Kohlenstoff-Verweildauer im strukturellen Pool und der gemessenen Blattlebensdauer (Abb. 2), dennoch war bis auf die zwei schon erwähnten Ausnahmedatensätze (*T. officinale* im Herbst 2006 und *P. pratensis* im Frühjahr 2007) in allen Fällen die Verweildauer des Kohlenstoffs im strukturellen Pool etwas kürzer als die gemessene Blattlebensdauer. Dies könnte einerseits durch das Wachstum der Triebe während der Markierung verursacht sein, wodurch der unmarkierte Kohlenstoff schneller durch markierten Kohlenstoff „verdünnt“ wird als ohne Wachstum. Zum anderen könnte eine Diskrepanz zwischen dem Zeitpunkt, zu dem ein Blatt als „geboren“ angesehen wurde, nämlich mit Erscheinen der Blattspitze, und dem Zeitpunkt, bis zu dem neuer Kohlenstoff in den strukturellen Pool eingebaut wurde, nämlich bis zum Ende der Blattwachstumsphase, dazu führen, dass die Kohlenstoffverweildauer systematisch kürzer war als die Blattlebensdauer. Dessen ungeachtet offenbaren die Ergebnisse einen deutlichen Zusammenhang zwischen Blattlebensdauer und Kohlenstoffverweildauer der dominierenden Arten.

Sowohl die Verweildauer des Kohlenstoffs im strukturellen Pool als auch die beobachteten Blattlebensdauern zeigten eine gewisse phänotypische Plastizität, aber keine klaren zwischenartlichen oder jahreszeitlichen Einflüsse. Dies könnte auf die jahrelange intensive Beweidung der Versuchsflächen zurückzuführen sein, die möglicherweise einen homogenisierenden Effekt hinsichtlich des Kohlenstoffumsatzes hatte. Es ist wahrscheinlich, dass Pflanzen auf einen ständigen verbissbedingten vorzeitigen Verlust assimilierender Blätter mit einer Verringerung der Blattkonstruktionskosten reagieren, was zu weniger robusten und kurzlebigeren Blättern führt (COSTE et al., 2011) und daher zu einem schnelleren Kohlenstoffumsatz.

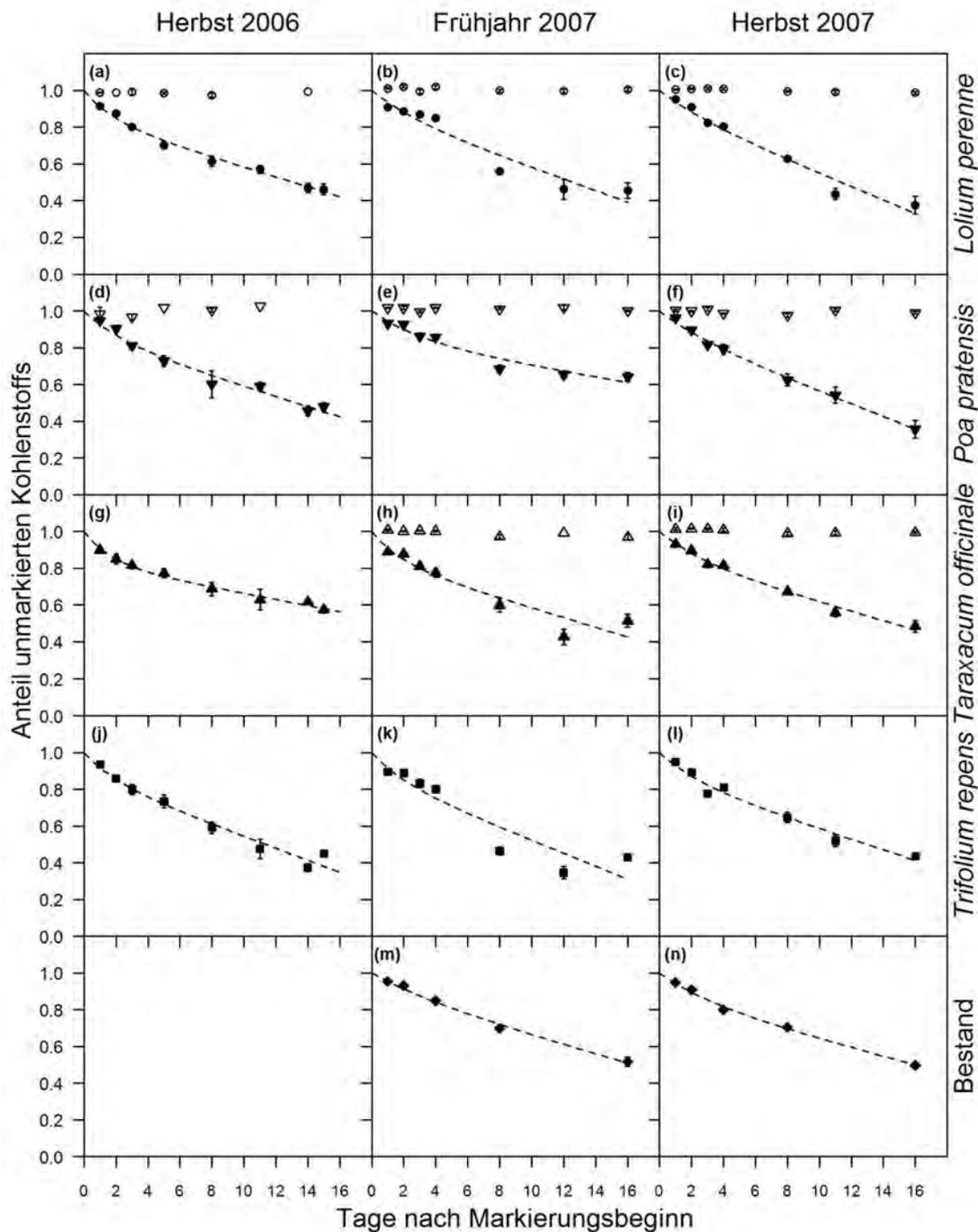


Abb. 1: Der Anteil des unmarkierten Kohlenstoffs (f_{old}) in den lebenden Trieben (geschlossene Symbole) und toten Blättern (offene Symbole) von *L. perenne*, *P. pratensis*, *T. officinale*, *T. repens* und der gesamten lebenden oberirdischen Biomasse (Bestand). Datenpunkte sind Mittelwerte von 6 bis 8 Proben \pm 1 Standardfehler. Die gestrichelte Linie ist der Fit von Gleichung (1) an die Datensätze mit einem gegebenen Anteil des strukturellen Kohlenstoffpools (a) von 65%.

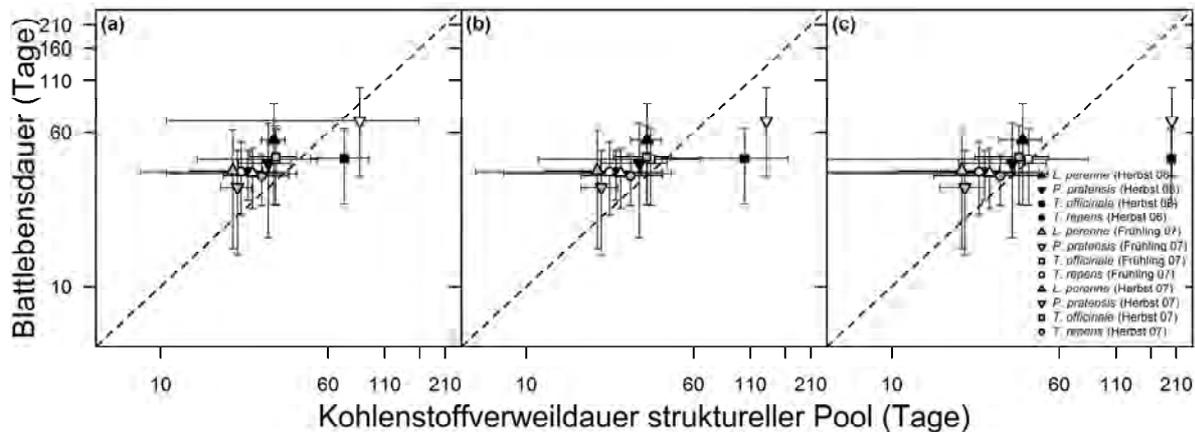


Abb. 2: Vergleich von der Kohlenstoffverweildauer im strukturellen Pool ($MRT_{C-Structural}$) und der Blattlebensdauer der Arten mit einem gegebenen Anteil des strukturellen Kohlenstoffpools von (a) 70%, (b) 65% und (c) 60%. Fehlerbalken stehen für das 95%-Konfidenzintervall. Der fehlende Balken eines Wertes (*P. pratensis* im Frühjahr 2007) deutet darauf hin, dass sich dieser nicht signifikant von Null unterschied. Die logarithmische Skala wurde für eine bessere Übersichtlichkeit gewählt.

4. Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die Kohlenstoffverweildauer der oberirdischen Biomasse einer Kurzrasenweide maßgeblich von der Blattlebensdauer der dominierenden Arten bestimmt wird, da (1) ein enger Zusammenhang zwischen der Blattlebensdauer und der Kohlenstoffverweildauer im strukturellen Pool bestand und (2) etwa 65% des Kohlenstoffs im strukturellen Pool zu finden waren und dieser mit im Mittel etwa 30 Tagen eine deutliche längere Kohlenstoff-Verweildauer zeigte als der nicht-strukturelle Pool mit etwa 5 Tagen. Es ist wahrscheinlich, dass der hier gefundene Zusammenhang zwischen Blattlebensdauer und Kohlenstoffverweildauer auch für andersartig genutztes Grünland gültig ist. Daher legen unsere Ergebnisse nahe, dass es im Grünland möglich ist, anhand der Blattlebensdauern der im Bestand dominierenden Arten den Kohlenstoffumsatz der oberirdischen Biomasse abzuschätzen und damit eine wichtige Komponente des Kohlenstoffkreislaufs von Grasland-Ökosystemen zu bestimmen.

Literatur

- COSTE, S., ROGGY, J.C., SCHIMANN, H., EPRON, D., und DREYER, E. (2011): A cost-benefit analysis of acclimation to low irradiance in tropical rainforest tree seedlings: leaf life-span and payback time for leaf development. *Journal of Experimental Botany* 62, 3941-3955.
- GAMNITZER, U., SCHÄUFELE, R. und SCHNYDER, H. (2009): Observing labelling kinetics in CO_2 respired by a temperate grassland ecosystem. *New Phytologist* 184, 376-386.
- SCHIMMEL, D. (1995): Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1, 77-91.

Effekte des Managements auf die Vegetationsstruktur von Pferdeweiden

Schmitz, Anja und Isselstein, Johannes

GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTEMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen e-mail: anja.schmitz@gmx.de,
jissels@gwdg.de

1. Einleitung und Problemstellung

Aktuelle Studien stellen vermehrt den positiven Effekt eines angepassten Beweidungsregimes auf die Phytodiversität des Grünlandes heraus (z.B. Plantureux et al. 2005, Rook und Tallwin 2003, Scimone et al. 2007). Die Forschung beschränkt sich dabei bislang auf die traditionellen Weidetiere, die Weidewirkung des Pferdes ist unter Praxisbedingungen bisher nicht hinreichend untersucht. Jedoch erfordert die zunehmende Bedeutung der Pferdehaltung im Grünland ein verbessertes Verständnis der Einflussgrößen auf die Vegetationsstruktur. 1,1 Mio. Pferde (FN- Deutsche Reiterliche Vereinigung 2011) beanspruchen mindestens 550.000 ha Grünland für Weide und Raufutterproduktion. Die ökologische Relevanz der Weidehaltung von Pferden wird kontrovers diskutiert. Pferde werden eher als „schwierige Weidetiere“ (Elsässer, 2010) eingeschätzt. Bei domestizierten Pferden wird insbesondere die Heterogenisierung der Grasnarbe durch ineinandergreifende Mechanismen der lokal konzentrierten Exkrementabgabe und der selektiven Defoliation hervorgehoben (Archer 1977, Ödberg und Francis-Smith 1976). Ziel der vorliegenden Untersuchung war daher die Analyse der Einflussfaktoren des Managements auf die Vegetationskomposition und -struktur von Pferdeweiden unter Praxisbedingungen, insbesondere im Hinblick auf den heterogenisierenden Weideeffekt des Pferdes.

2. Material und Methoden

Die für die vorliegende Untersuchung verwendeten Daten wurden über 5 Jahre hinweg auf insgesamt 56 pferdehaltenden Praxisbetrieben erfasst. Der Untersuchung ist ein stratifiziert genestetes faktorielles Design zugrunde gelegt, das die Heterogenisierung der Flächen berücksichtigt. Auf insgesamt 224 Flächen (103 Weiden, 94 Mähweiden und als Kontrollflächen 27 Schnittwiesen) wurden jeweils an gut befressenen (mittigen) und gemiedenen (randlagigen) Bereichen (n=448) floristische Kartierungen (Aufnahmeplot 25m²) durchgeführt und Bodenproben gezogen, die auf pflanzenverfügbare Nährstoffe P, K, Mg sowie den pH-Wert analysiert wurden. Umwelt- und Managementdaten wurden anhand von Befragungen der Betriebsleiter erhoben. Die statistische Auswertung erfolgte anhand der Canonical Constrained Ordination (CCA), um signifikante Einflussfaktoren auf die Vegetationskomposition zu ermitteln. Managementvariablen wurden per Monte-Carlo Permutationstest (499 Permutationen) auf Signifikanz geprüft. Alle weiteren erklärenden Variablen wurden als Kovariablen verwendet, um den reinen Effekt der fokussierten Managementvariablen darstellen zu können.

Um die Heterogenität der Bereiche hinsichtlich der Vegetationsresponse (Artenzahlen, high-nature value (HNV)-Indikatorarten (Matzdorf et al. 2010), Ertragsanteile

Gräser, Kräuter, Leguminosen und Nutzungskennwerte nach Briemle und Dierschke 2002) und Bodenparameter beschreiben zu können, wurden Varianzanalysen mit Messwiederholungen herangezogen. Lineare Regressionsanalysen wurden ergänzend verwendet, um den Effekt der Managementvariablen auf die Vegetationsresponse bestimmen zu können. Um der durch räumliche Verteilung der Betriebe zu erklärenden Varianz im Datensatz Rechnung zu tragen und räumlicher Autokorrelation vorzubeugen, wurden dem Vorschlag von Legendre und Legendre (1998) folgend Raum-Variablen unter Verwendung der geographischen Koordinaten aus den 9 Termen eines *kubischen trend surface Polynoms* gebildet und stets als Kovariablen verwendet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Nutzungsvarianten Weide, Mähweide und Schnittwiese zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der beobachteten Arten ($n=226$) oder HNV-Kennarten ($n=53$), jedoch unterschieden sich beweidete und gemähte Flächen signifikant im Ertragsanteil von Gräsern ($p=0.036$) und Kräutern ($p=0.015$) (siehe Tab. 1). Dies entspricht den Beobachtungen von Fleurance et al. (2010), die eine Verschiebung der Abundanzen zugunsten der Kräuter auf von Pferden beweideten Versuchsflächen nachweisen konnten. Präferenz des Pferdes für grasartige Pflanzen, sowie die Fähigkeit zu ausgeprägt selektivem Fraß erklären diesen Effekt (Archer 1977).

Heterogene Strukturierung von Weiden in kurzrasige befressene und überständige gemiedene Bereiche ist als ein die Phytodiversität auf lokaler Ebene stark beeinflussender Parameter bekannt (z.B. Olf und Ritchie 1998, Scimone et al. 2007). Ein Wirkungsgefüge aus Nährstoffumlagerung über räumliche Trennung von Nährstoffentzug durch Fraß und lokal konzentrierte Exkrementabgabe innerhalb der Flächen, dabei Meidung dieser Exkrementstellen und selektiver Defoliation prägt die Heterogenität der Narbenstruktur durch direkte Störung und indirekt über Förderung lokaler Konkurrenz der Arten (z.B. Dumont 1997, Plantureux et al. 2005, Rook Tallwin 2003). Dem entspricht, dass im Zuge der multivariaten Ordination (Abb. 1) die Variable Aufnahmebereich (nominalskaliert als „befressen“ und „gemieden“) einen größeren Anteil der Varianz in der Vegetationskomposition erklärte als jede weitere erfasste Umwelt- und Managementvariable. Die Vegetationskomposition wurde signifikant durch die eng mit dem Gradienten des gemiedenen Aufnahmebereichs korrelierten Gradienten der Bodennährstoffgehalte von Phosphor (P) und Kali (K) erklärt. Dies spricht für den nährstoffumverteilenden Weideeffekt des Pferdes. Während die reinen Schnittwiesen weitestgehend keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Nährstoffgehalte zwischen den Bereichen zeigten, wiesen die beweideten Flächen hochsignifikante Unterschiede hinsichtlich der Versorgung der Bereiche mit den pflanzenverfügbaren Nährstoffen Phosphor und Kali auf (Tab.1). Opitz von Boberfeld et al. (2000) beobachteten ähnliche Unterschiede hinsichtlich der Bodennährstoffe der Kahlfraßbereiche und Geilstellen auf Pferde- und Rinderweiden. Archer (1977) konnte sogar eine Abweichung im Kaligehalt um bis zu 300% beobachten. Eng mit den Gradienten von P und K korrelierte das Vorkommen von nitrophilen Arten wie *Rumex obtusifolius*, *Urtica dioica*, *Cirsium arvense*, *Capsella bursa-pastoris* oder auch verschmähte Gräser wie *Elymus repens* und *Holcus lanatus* (Abb. 1).

Tab. 1: Heterogenität der Aufnahmebereiche hinsichtlich der Bodennährstoffe P und K, sowie der Ertragsanteile in%. Ergebnistabelle der ANOVA mit Messwiederholungen „befressen“ und „gemieden“. Dargestellt sind die Mittelwerte der jeweiligen Aufnahmebereiche, kategorisiert nach Nutzungsvariante, sowie das Signifikanzniveau der Mittelwertsunterschiede innerhalb der Flächen (p Bereich) und zwischen den Nutzungsvarianten (p Nutzvariante).

Variable	Nutzvariante	befressen	gemieden	p Bereich	p Nutzvariante
P mg	Weide	16.7	22.1	0.026	
	Mähweide	16.3	20.7	n.s.	n.s.
	Schnittwiese	11.5	14.4	n.s.	
K mg	Weide	17.7	26.1	0.001	
	Mähweide	13.2	19.6	0.002	0.011
	Schnittwiese	10.8	15.9	n.s.	
Gras in %	Weide	72.0	65.2	0.038	
	Mähweide	78.5	67.9	0.001	0.036
	Schnittwiese	79.8	77.6	n.s.	
Kräuter in %	Weide	20.0	29.9	0.001	
	Mähweide	16.2	28.0	0.001	0.015
	Schnittwiese	15.0	17.1	n.s.	
Ruderales Arten in %	Weide	1.1	10.5	0.001	
	Mähweide	1.9	11.5	0.001	n.s.
	Schnittwiese	2.0	4.0	0.031	

Insgesamt zeichneten sich gemiedene Bereiche der Weiden durch einen signifikant höheren Anteil von Kräutern und v.a. von nitrophilen Ruderalarten aus als befressene Bereiche (Tab. 1). Diese waren hingegen durch einen signifikant höheren Anteil an Gräsern gekennzeichnet. Dem entsprach auch der signifikant ($p=0.001$) höhere Futterwert der befressenen Bereiche. Pferde selektieren nach Energiegehalt des Futters (Edouard et al. 2009, Naujeck et al. 2005), während gemiedene Bereiche verschont bleiben, wird junger Aufwuchs kurzrasiger Bereiche wiederholt verbissen. Hiervon profitieren konkurrenzstarke Gräser oder bodennahe Rosettenpflanzen wie *Bellis perenne* (Abb. 1). *Poa annua* besiedelt als Störungszeiger schnell offene Bodenstellen (Elsässer 2010). Ihr Vorkommen weist auf eine erhebliche Beanspruchung der Grasnarbe an dieser Stelle. Die Gradienten der Flächennutzungsintensität (Besatz, GV-Weidetage) korrelierten eng mit dem Gradienten des befressenen Bereichs und den angesprochenen Störungszeigern. Hohe Nutzungsintensität kann somit einerseits Störungszeiger des kurzrasigen Bereichs fördern.

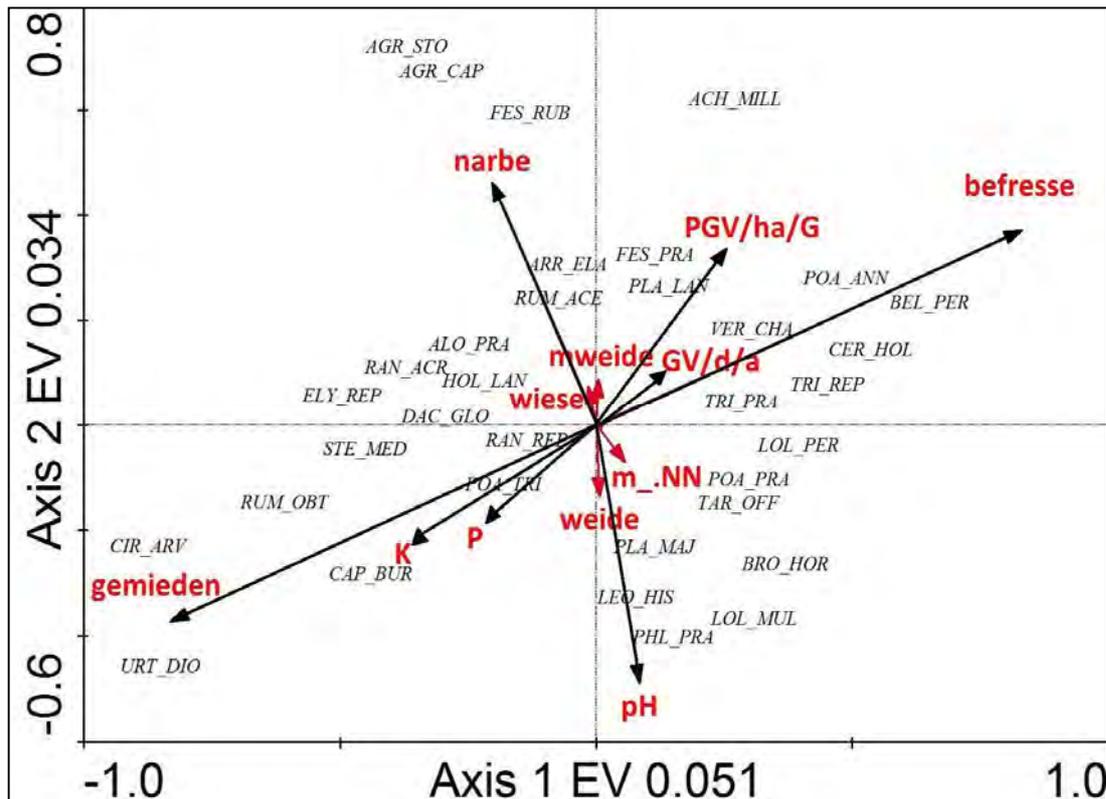


Abb. 1: Partieller CCA – Biplot der 448 samples mit einer Auswahl signifikanter Management- und Umweltvariablen, sowie der Variable Bereich. Vegetationsdaten wurden wurzeltransformiert, seltene Arten heruntergewichtet (downweighting of rare species). Dargestellt sind die 98% ‚best-fitting‘ Arten im von Umweltvariablen (schwarzer Gradient signifikant, grauer Gradient nicht signifikant) aufgespannten Ordinationsraum. (narbe = Alter der Grasnarbe; mweide = Mähweidenutzung; wiese = reine Schnittnutzung; weide = reine Weidenutzung PGV/ha/G=Pferdegroßvieheinheiten je ha Grünland im Betrieb; GV/d/a=Großviehweidetage; befresse=befressener Bereich; m_.NN= Meter über NormalNull; pH=Bodenreaktion; P = mg Phosphor/100g Boden; K = mg Kali/100g Boden).

Poa annua besiedelt als Störungszeiger schnell offene Bodenstellen (Elsässer 2010). Ihr Vorkommen weist auf eine erhebliche Beanspruchung der Grasnarbe an dieser Stelle. Die Gradienten der Flächennutzungsintensität (Besatz, GV-Weidetage) korrelierten eng mit dem Gradienten des befressenen Bereichs und den angesprochenen Störungszeigern. Hohe Nutzungsintensität kann somit einerseits Störungszeiger des kurzrasigen Bereichs fördern. Andererseits zeigte die lineare Regression einen hochsignifikanten positiven Effekt der Nutzungsintensität (GV-Weidetage: $p=0.001$) auf den Ertragsanteil ruderaler nitrophiler Arten. Hohe Nutzungsintensität bedingt somit eine Verschärfung der floristischen Kontraste. Ein solcher Effekt wird auch für traditionelle Weidetiere beschrieben (z.B. Dumont 1997, Rook Tallowin 2003). Pferdeweiden werden in der Praxis häufig aufgrund ihres heterogenen Erscheinungsbildes als ungepflegt charakterisiert (Lengwenat 2006). Zum Erhalt einer leistungsfähigen Grasnarbe und zur Verminderung der beschriebenen floristischen Kontraste bedarf es eines entsprechenden Pflegeregimes (Elsässer 2010). Die untersuchten Flächen wurden überwiegend geschleppt (82%) und nachgemäht (75%). Für geschleppte Flächen konnte ein hochsignifikanter ($p=0.001$) Effekt der Pflegemaßnahme auf den Unterschied der Bereiche hinsichtlich des Nährstoffes P gezeigt werden. Nachmahd zeigte einen positiven Effekt auf den Ertragsanteil der Gräser ($p=0.037$) und negativen Effekt auf den Ertragsanteil von Kräutern ($p=0.013$), was sich nicht zuletzt

in einem signifikant ($p=0.006$) höheren Futterwert niederschlägt. Aus Sicht des Naturschutzes sei angemerkt, dass Schleppen der Flächen und Herbizidanwendung einen jeweils hochsignifikant negativen Effekt auf die beobachtete Artenanzahl (Schleppen: $p=0.002$; Herbizid: $p=0.001$) sowie Anzahl von HNV-Indikatorarten (Schleppen: $p=0.0001$; Herbizid: $p=0.0001$) zeigten. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte zwar kein signifikanter Zusammenhang zwischen floristischer Heterogenität (berechnet als Soerensenkoeffizient) und anzutreffender Artenvielfalt festgestellt werden. Indirekt bestätigte sich aber über den negativen Effekt homogener Pflegemaßnahmen auf die Phytodiversität der für traditionelle Weidenutzung bekannte (z.B. Adler et al. 2001) positive Effekt heterogener Narbenstrukturen für die Phytodiversität. Dies bestätigte sich auch in der Beurteilung der Flächen anhand der von Matzdorf et al. 2010 aufgeführten Indikatorarten für HNV-Grünland. Die Hälfte aller untersuchten Weiden ist demnach als HNV-Grünland zu beurteilen, etwa 12% sogar mit äußerst hohem Naturwert. Verglichen mit dem Anteil von HNV-Grünland am gesamten Grünland Deutschlands (13,7 % (Fuchs 2010)) spricht dies für das Potential von Pferdeweiden für den Erhalt artenreicher Flächen.

4. Schlussfolgerungen

Die vorliegende Untersuchung konnte eine Reihe von Praxisbeobachtungen und Annahmen bestätigen. Pferdeweiden zeichnen sich durch eine stark heterogene Vegetationsstruktur innerhalb der Flächen aus. Insbesondere die Nährstoffumlagerung durch das Weidetier wird als ausschlaggebend für die heterogene Ausprägung der Grasnarbe erkannt. In Abhängigkeit von der Nutzungsintensität und dem Pflegeregime hat das Pferd einen degradierenden oder aber die Phytodiversität fördernden Effekt auf die Grasnarbe. Intensiv genutzte Flächen bedürfen eines entsprechenden Pflegeregimes, um eine leistungsfähige Grasnarbe zu erhalten. Bei extensiver Weideführung hingegen stellen Pferdeweiden durch heterogene Narbenstruktur ein Potential zum Erhalt von Phytodiversität dar, dem intensive Pflegemaßnahmen allerdings entgegenwirken. Dies muss im Rahmen einer nachhaltigen Weideführung beachtet und entsprechend am Standort und den betriebsindividuellen Gegebenheiten ausgerichtet werden.

Zum Verständnis der dynamischen Wirkungsgefüge auf Pferdeweiden und zum Vergleich des Weideeffektes des Pferdes zu dem traditioneller Weidetiere besteht weiterhin Forschungsbedarf. Diesem wird sich zukünftig in der Arbeitsgruppe Graslandwissenschaft der Universität Göttingen im Rahmen eines von der DBU geförderten Promotionsprojektes gewidmet.

Literatur

- Adler, P.B.; Raff, A.; Lauenroth, W.K. (2001): The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia* 128:465–479.
- Archer, M. (1973): The species preferences of grazing horses. *Journal of British Grassland Society* 28, 123-128.
- Briemle, G. Dierschke, H. (2002): *Kulturgrasland*. Stuttgart.
- Dumont, B. (1997): Diet preferences of herbivores at pasture. *Ann. Zootech.* 46, 105-116.
- Edouard, N. et al. (2009): Does sward height affect feeding patch choice and voluntary intake in horses? *Applied Animal Behaviour Science* 119, 219–228.
- Elsässer, M. (2010): Typisch Pferdeweide. (K)ein Bild des Jammers. *Pferdebetrieb Extra: Pferdeweiden optimal bewirtschaften*. 5-9.

- Fleurance, G. et al. (2010): How does stocking rate influence biodiversity in a hill-range pasture continuously grazed by horses? *Grassland Science in Europe* 15,1043-1045.
- FN- Deutsche Reiterliche Vereinigung (2011): Zahlen und Fakten im Pferdesport. Onlinequelle: <http://www.pferd-aktuell.de/fn/zahlen--fakten/zahlen--fakten> (Abrufdatum 01.12.2011)
- Fuchs, D. (2010): Überblick über die Monitoringprogramme in der Agrarlandschaft bei den Bundesländern. *Naturschutz und biologische Vielfalt* 83: 91-98.
- Legendre, P.; Legendre, L. (1998): *Numerical Ecology*. Amsterdam.
- Lengwenat, O. (2006): *Grünland – Basis der Pferdefütterung*. Hannover.
- Matzdorf, B.(2010): *Bewertung der Ökosystemdienstleistungen von HNV-Grünland (High Nature Value Grassland)*. Abschlussbericht.
- Naujeck, A.; Hill, J.; Gibb, M.J.(2005): Influence of sward height on diet selection by horses. *Applied Animal Behaviour Science* 90, 49–63.
- Ödberg, F.O. ; Francis-Smith, K. (1976): Studies on the formation of ungrazed eliminative areas in fields used by horses. *Applied Animal Ethology*, 3, 27-34.
- Olf, H.; Ritchie, M.E.(1998): Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends of Ecology and Evolution* 13, 261–26.
- Opitz von Boberfeld, W. et al.(2000): Zur Variabilität der Nmin, Phosphat und Kaliummengen auf Pferdeweiden. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 2000, 91-93.
- Plantureux, S. et al. (2005): Biodiversity in intensive Grasslands: Effect of management, improvements and challenges. *Agronomy Research* 3, 153-164.
- Rook, A. ; Tallowin, J.(2003): Grazing and pasture management for biodiversity benefit. *Animal Research* 52, 181–189.
- Scimone, M. et al. (2007): Effects of livestock breed and grazing intensity on grazing systems: 3. Effects on diversity of vegetation. *Grass and Forage Science* 62, 172–184.

Effekte von Grasnarbenzusammensetzung und Weidetierart auf Futterqualität und –Produktivität

M. Seither¹, N. Wrage², J. Isselstein³

¹ LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM BADEN-WUERTTEMBERG (LAZBW),
D-88326 Aulendorf, melanie.seither@lazbw.bwl.de

² RHINE-WAAL UNIVERSITÄT DER ANGEWANDTEN WISSENSCHAFTEN,
D-47533 Kleve

³ UNIVERSITÄT GOETTINGEN, DEPARTMENT FÜR NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN,
D-37075 Goettingen

1. Einleitung und Problemstellung

In experimentellen Grünlandstudien wurde häufig eine Zunahme der Biomasseproduktion (HECTOR *et al.* 1999; TILMAN und DOWNING 1994) und (VAN RUIJVEN und BERENDSE 2005) durch eine Erhöhung der pflanzlichen Diversität festgestellt. Diese Effekte wurden auf räumliche und zeitliche Komplementarität der Ressourcennutzung unterschiedlicher Pflanzenarten zurückgeführt. Weidetiere beeinflussen durch selektive Futteraufnahme (WALLIS DEVRIES und DALEBOUDT 1994) und die Verteilung der Exkremete (ROOK und TALLOWIN 2003) die Vegetationsstruktur und –Zusammensetzung und könnten hierdurch auch die Produktivität und Futterqualität des Aufwuchses beeinflussen. Die gleichmäßigere Verteilung der Exkremete bei Schafen könnte zu einer besseren Nutzung dieser Nährstoffe durch den Pflanzenbestand und einer entsprechend höheren Biomasseproduktion führen. Schafe weiden selektiver als Rinder (GRANT *et al.* 1987) und benötigen eine höhere Futterqualität (ROOK *et al.* 2004). Beweidung durch Schafe im Vergleich mit Rindern könnte daher zu höherer Abnahme der Futterqualität im Laufe der Beweidung führen.

In landwirtschaftlich genutztem Grünland gibt es bisher nur wenige Untersuchungen des Zusammenhangs von Pflanzendiversität und Produktivität sowie dem Beweidungseffekt von getrennt und gemeinsam weidenden Schafen und Rindern auf die Produktivität und Futterqualität des Bestands. In einer dreijährigen Studie wurden diese Effekte in einem semi-natürlichen Grasland untersucht. Bei der Vegetation handelte es sich um ein moderat artenreiches *Lolio-Cynosuretum* sowie dessen durch den Einsatz selektiver Herbizide Gras-dominierten Variante. Die Hypothesen waren:

1. Die Biomasseproduktion und Futterqualität der artenreicheren Variante ist höher als die der Gras-dominierten Variante.
2. Beweidung mit Schafen führt zu höherer Biomasseproduktion und zu einer höheren Abnahme der Futterqualität als Beweidung mit Rindern.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungsfläche ist ein moderat artenreiches Grasland im Solling-Mittelgebirge (51°46'47" N, 9°42'11" E), das der Pflanzenassoziation *Lolio-Cynosuretum* zuzuordnen ist. Beim Bodentyp handelt es sich um ein Pelosol mit lehmig-schluffiger Textur. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 879 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur bei 8.2 °C (1961–1990, Deutscher Wetterdienst). 2006 wurde die Hälfte der natürlichen Vegetation („diverse Variante“; 13.8 ± 3.7 Arten/ 9 m² in 2007) mit den Herbiziden Starane und Duplosan KV (Wirkstoffe

Fluroxypyr und Mecoprop-P) behandelt, woraus eine Gras-dominierte „Gras-Variante“ (9.2 ± 2.5 Arten/ 9 m^2 in 2007; Mittelwert \pm Standardabweichung, MW \pm sd) resultierte. Beide Varianten wurden entweder mit Kühen und Kälbern der Rasse Deutsches Fleckvieh, mit Leine- und Schwarzkopf-Schafen und Lämmern in jeweils ähnlichen Anteilen oder mit Schafen und Rindern gemeinsam (Mischbeweidung) beweidet. Die sechs Varianten (2 Graslanddiversitäten \times 3 Beweidungsvarianten) wurden in dreifacher Wiederholung (in Blöcken) angelegt, die in Rotation (insgesamt drei Mal pro Jahr) beweidet wurden (Parzellengröße 0.5 ha). Die Besatzdichte lag im Mittel über die Jahre und Varianten bei 13.4 ± 1.4 , 14.3 ± 1.7 und $8.4 \pm 0.4 \text{ GV ha}^{-1}$ ($1 \text{ GV} = 500 \text{ kg}$) für die drei Umtriebe. Bei jedem Auf- und Abtrieb auf die Parzellen wurden 50 Narbenhöhenmessungen je Parzelle durchgeführt und an 4 Stellen bekannter Narbenhöhe die Biomasse bestimmt. Für jeden jeweiligen Auftriebs- und Abtriebstermin wurde (über alle Varianten und Wiederholungen hinweg) eine Regressionsgleichung berechnet und die aufstehende Biomasse ermittelt. Die bei 60° C für 48h getrockneten Biomasseproben wurden anschließend zur Untersuchung von Futterqualitätsparametern (u. a. Rohprotein, XP und saure Detergentienfaser, ADF) durch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) genutzt, basierend auf diesen wurde die Metabolisierbare Energie des Futters (GFE 2008) berechnet. Die jährlich akkumulierte Futterproduktion wurde basierend auf der Futtermasse (FM) vor und nach Beweidung (FM_v und FM_n) als Summe der Futtermasse zum 1. Auftrieb (FM_{v1}) sowie der Futtermasse-Differenz vor- und nach Beweidung der Umtriebe zwei und drei berechnet: Jährliche Futterakkumulation = $\text{FM}_{v1} + (\text{FM}_{v2} - \text{FM}_{n2}) + (\text{FM}_{v3} - \text{FM}_{n3})$.

3. Ergebnisse und Diskussion

Trotz Unterschieden in der Artenzahl und zunehmender Unterschiede in der Bestandeszusammensetzung der Grasnarben-Varianten durch die Zunahme von Kräutern in der diversen Variante, unterschieden sich Gras- und diverse Variante nicht in ihrer Produktivität (Tab. 1). Dies könnte mit der relativ hohen Artenzahl der Gras-Variante zusammenhängen (9, 12 und 15 Arten pro 9 m^2 in 2007, 2008 und 2009), wodurch auch in dieser Variante komplementäre Effekte zwischen Arten von Bedeutung gewesen sein könnten. Des Weiteren wiesen beide Varianten ähnliche Anteile der hoch produktiven Gräser Deutsches Weidelgras und Knautgras auf (diese machten gemeinsam jeweils 37 u. 32 % in 2008 und 2009 in der diversen und 38 % in beiden Jahren in der Gras-Variante aus). Der Bedeutung der Leguminosen für die N-Fixierung war auch in der diversen Variante vergleichsweise niedrig (Daten nicht gezeigt). Die Weidetierart hatte keinen Einfluss auf die Biomasseproduktion: zum einen stellte BETTERIDGE *et al.* (2010) fest, dass der Urin von Schafen und Rindern ähnlich ungleichmäßig verteilt ist (50% des Urins waren auf 14 bzw. 16 % der Fläche bei Schafen bzw. Rindern verteilt), des Weiteren könnten komplementäre Effekte infolge der hohen Nährstoffrückführung durch Exkremate in beiden Grasnarben-Varianten generell von vergleichsweise geringer Bedeutung gewesen sein.

Höhere Lignin-Gehalte der Gräser resultierten in höhere Rohfasergehalte der Gras-Variante, während die Kräuter- und Leguminosenanteile der diversen Variante in manchen Fällen zu höheren Rohproteingehalten als in der Gras-Variante führten (Tab. 1). Die Unterschiede in Futterqualitätsparametern führten jedoch nur zum zweiten Auftrieb 2007 zu einer höheren Metabolisierbaren Energie des Futters in der diversen Variante (9.8 ± 0.3 vs. 10.2 ± 0.3 , MW \pm sd).

Tab. 1: Futterakkumulation, ADF- und XP-Gehalt sowie Metabolisierbare Energie des Aufwuchses (vor Auftrieb der Tiere) pro Jahr bzw. je Umtrieb (U1, U2, U3) der Gras- und diversen Rinder- (R), Schaf- (S) und Misch-beweideter Parzellen (RS) sowie statistische Kennwerte der ANOVAs (ns: nicht signifikant). Innerhalb einer Grasnarben-Variante Diversität gab es keine Unterschiede zwischen Beweidungsvarianten.

Diversität (D)	Gras			Divers			ANOVA, Signifikanz F-Wert			
	Beweidung (B)	R	RS	S	R	RS	S	D	B	D × B
Futterakkumulation, t ha⁻¹ a⁻¹										
2007	5.7 ± 1.1	5.7 ± 1.0	5.9 ± 1.4	5.7 ± 0.8	6.2 ± 1.6	7.2 ± 0.4	ns	ns	ns	
2008	7.1 ± 1.5	7.0 ± 2.0	6.7 ± 2.3	5.7 ± 2.8	6.4 ± 2.1	6.7 ± 1.3	ns	ns	ns	
2009	3.7 ± 1.0	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.7	3.5 ± 0.5	4.0 ± 0.5	3.8 ± 1.0	ns	ns	ns	
ADF, g kg⁻¹										
2008, U1	297.6 ± 37.8	289.8 ± 34.8	305.2 ± 42.4	291.7 ± 31.4	288.9 ± 25.7	297.6 ± 27.4	ns	ns	ns	
2008, U2	316.3 ± 38.1	331.6 ± 26.4	331.3 ± 71.1	298.3 ± 52.4	335.4 ± 47.5	316.3 ± 34.1	ns	ns	ns	
2008, U3	345.0 ± 21.6	281.6 ± 9.4b	296.0 ± 9.2b	279.8 ± 21.1	256.8 ± 17.9	345.0 ± 27.6	ns	0.017	0.020	
XP, g kg⁻¹										
2008, U1	99.9 ± 6.1	124.8 ± 40.3	109.3 ± 16.6	114.3 ± 17.2	115.8 ± 3.6	99.9 ± 15.9	ns	ns	ns	
2008, U2	90.3 ± 14.9	92.1 ± 11.5	119.6 ± 62.1	110.5 ± 5.2	87.2 ± 3.4	90.3 ± 4.5	ns	ns	ns	
2008, U3	86.5 ± 1.7	98.3 ± 6.2	94.5 ± 22.8	119.7 ± 28.0	136.7 ± 13.3	86.5 ± 33.7	0.019	ns	ns	
Metabolisierbare Energie, MJ kg⁻¹										
2008, U1	10.5 ± 0.5	10.4 ± 0.4	10.4 ± 0.4	10.5 ± 0.7	10.6 ± 0.3	10.5 ± 0.5	ns	ns	ns	
2008, U2	9.4 ± 0.8	9.2 ± 0.4	9.0 ± 1.0	9.8 ± 0.5	9.4 ± 0.6	9.4 ± 0.2	ns	ns	ns	
2008, U3	8.9 ± 0.7	9.8 ± 0.5	9.8 ± 0.2	9.9 ± 0.5	10.1 ± 0.2	8.9 ± 0.4	ns	ns	0.022	

Beweidung mit Schafen oder Rindern führte zu signifikanten Unterschieden in der Veränderung der Futterqualität des Aufwuchses vor und nach Beweidung: in der Gras-Variante war bei Rinder- und Mischbeweidung aufgrund der höheren Aufnahme von gealtertem Futter durch Rinder (DUMONT *et al.* 1995) eine geringere Zunahme des ADF-Gehalts als bei Schaf-Beweidung zu verzeichnen. In der diversen Variante kam es im Zusammenhang mit einer stärkeren Abnahme der Leguminosen (SEITHER *et al.* 2010) zur stärkeren Abnahme des XP-Gehalts in Schaf- u. Mischbeweideten verglichen mit Rinder-beweideten Parzellen.

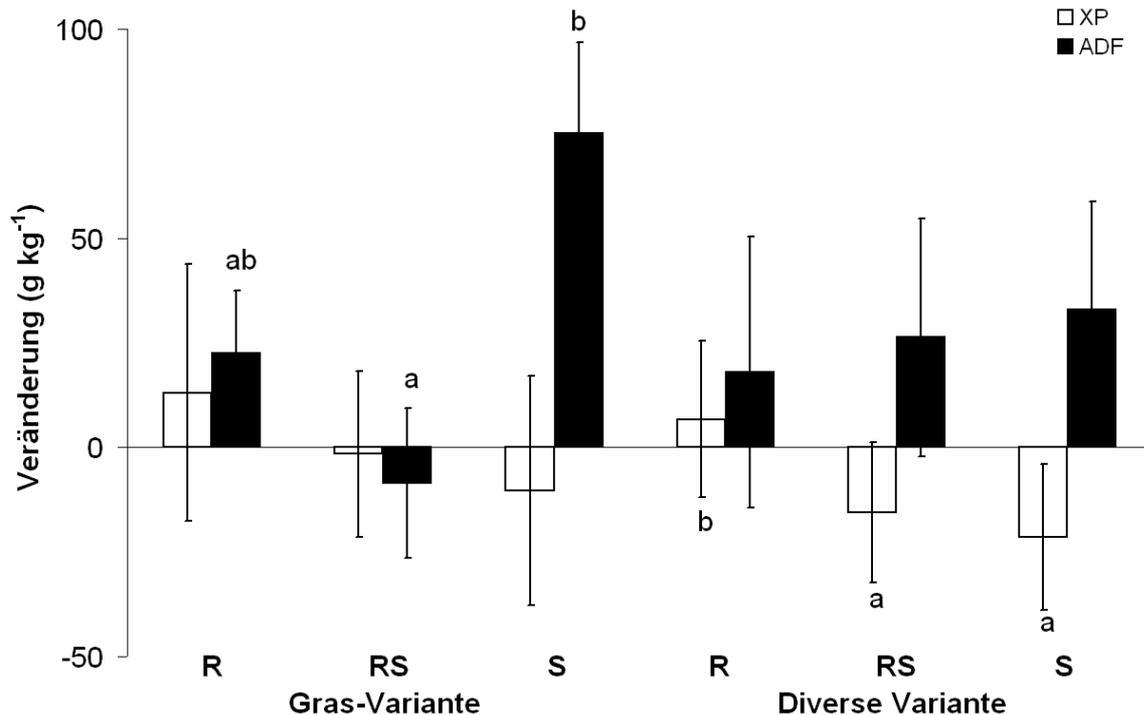


Abb. 1: Veränderung in der Konzentration (g kg⁻¹) von Rohprotein (XP) und saurer Detergenzienfaser (ADF) vor und nach Beweidung im Futter von Rinder- Schaf- und Mischbeweideten (R, S, RS) Parzellen der Gras- und diversen Variante (3. Umtrieb, 2007). Unterschiede zwischen Beweidungsvarianten innerhalb einer Grasnarbe haben unterschiedliche Buchstaben ($P \leq 0.01$ bei XP und $P \leq 0.05$ bei ADF).

4. Schlussfolgerungen

In dieser Untersuchung hatte weder die Bestandeszusammensetzung noch die Weidetierart einen Einfluss auf die Höhe der Biomasseproduktion. In manchen Fällen wiesen Futterqualitätsparameter auf höhere Futterqualität der diversen Variante hin; dies resultierte jedoch nur bei einem von neun untersuchten Aufwüchsen zu höherer Metabolisierbaren Energie des Futters. Beweidung mit Schafen oder Rindern beeinflusste die Entwicklung des XP- und ADF-Gehalts während der Beweidung in Folge höherer Selektivität der Schafe. Der Effekt der Mischbeweidung auf die Futterqualität ähnelte entweder dem der Rinder- oder dem der Schaf-Beweidung.

Literatur

- BETTERIDGE, K., COSTALL, D., BALLADUR, S., UPSDELL, M., und UMEMURA, K., 2010, Urine distribution and grazing behaviour of female sheep and cattle grazing a steep New Zealand hill pasture: *Animal Production Science*, V. 50, p. 624–629.
- DUMONT, B., D'HOOR, P., und PETIT, M., 1995, The usefulness of grazing tests for studying the ability of sheep and cattle to exploit reproductive patches of pastures: *Applied Animal Behaviour Science*, V. 45, p. 79-88.
- GFE, Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. 2008, New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants: *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, V. 17, p. 191 - 198.

Posterbeiträge: Sektion Weide

- GRANT, S.A., TORVELL, L., SMITH, H.K., SUCKLING, D.E., FORBES, T.D.A., und HODGSON, J., 1987, Comparative studies of diet selection by sheep and cattle: Blanket bog and heather moor: *Journal of Ecology*, V. 75, p. 947-960.
- HECTOR, A., SCHMID, B., BEIERKUHNLEIN, C., CALDEIRA, M.C., DIEMER, M., DIMITRAKOPOULOS, P.G., FINN, J.A., FREITAS, H., GILLER, P.S., GOOD, J., HARRIS, R., HÖGBERG, P., HUSS-DANEL, K., JOSHI, J., JUMPPONEN, A., KÖRNER, C., LEADLEY, P.W., LOREAU, M., MINNS, A., MULDER, C.P.H., O'DONOVAN, G., OTWAY, S.J., PEREIRA, J.S., PRINZ, A., READ, D.J., SCHERER-LORENZEN, M., SCHULZE, E.-D., SIAMANTZIOURAS, A.-S.D., SPEHN, E.M., TERRY, A.C., TROUMBIS, A.Y., WOODWARD, F.I., YACHI, S., und LAWTON, J.H., 1999, Plant diversity and productivity experiments in European grasslands: *Science*, V. 286, p. 1123-1127.
- ROOK, A.J., und TALLOWIN, J.R.B., 2003, Grazing and pasture management for biodiversity benefit: *Animal Research*, V. 52, p. 181-189.
- ROOK, A.J., DUMONT, B., ISSELSTEIN, J., OSORO, K., WALLISDEVRIES, M.F., PARENTE, G., und MILLS, J., 2004, Matching type of livestock to desired biodiversity outcomes in pastures - a review: *Biological Conservation*, V. 119, p. 137-150.
- SEITHER, M., PETERSEN, U., WRAGE, N., und ISSELSTEIN, J., 2010, Effect of mono- and mixed grazing of cattle and sheep on grassland diversity patterns: *Grassland Science in Europe*, V. 15, p. 752-754.
- TILMAN, D., und DOWNING, J.A., 1994, Biodiversity and stability in grasslands: *Nature*, V. 367, p. 363-365.
- VAN RUIJVEN, J., und BERENDSE, F., 2005, Diversity-productivity relationships: Initial effects, long-term patterns, and underlying mechanisms: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, V. 102, p. 695-700.
- WALLIS DEVRIES, M.F., und DALEBOUDT, C., 1994, Foraging strategy of cattle in patchy grassland: *Oecologia*, V. 100, p. 98-106.

Einfluss der Beweidungsintensität auf die kleinräumige Heterogenität der Nährstoffzufuhr in Kot und Harn der Weidetiere

B. Tonn¹, N. Wrage², J. Isselstein¹

1: GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT,
von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen

2: HOCHSCHULE RHEIN-WAAL, FAKULTÄT LIFE SCIENCES,
Landwehr 4, 47533 Kleve
btonn@uni-goettingen.de

1. Einleitung und Problemstellung

Auf Weideflächen wird der überwiegende Teil der von den Weidetieren aufgenommenen Nährstoffe in Form von Kot und Harn direkt auf die Fläche zurückgeführt. Dieser Prozess führt jedoch, selbst bei gleichmäßiger Verteilung der tierischen Exkrememente auf der Fläche, zur kleinräumigen Nährstoffkonzentrierung in den Kot- und Harnstellen sowie zur Nährstoffseparation durch ungleiche Verteilung der einzelnen Nährstoffe auf Kot und Harn. Diese Prozesse wurden zumeist vor dem Hintergrund des Risikos punktuell hoher Nährstoffverluste untersucht. In extensiven Weidesystemen, die außer den Exkrementen der Weidetiere keine oder nur eine geringe zusätzliche Düngung erhalten, kann das Ausmaß der kleinräumigen Heterogenität der Nährstoffrückführung darüber hinaus einen wesentlichen Einfluss auf die langfristige Produktivität der Grasnarbe haben. Auf Grundlage von Daten eines langjährigen Weideexperimentes wurde daher modellhaft untersucht, wie sich die Nährstoffkonzentrierung in Exkrementstellen bei verschiedenen Beweidungsintensitäten auf die kurz- und mittelfristigen kleinräumigen Nährstoffbilanzen auswirkt.

2. Material und Methoden

Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Daten wurden in den Jahren 2006 und 2007 in einem im Jahr 2002 angelegten Weideexperiment auf langjährig ungedüngtem Grünland im Solling erhoben. In diesem wurden seit 2005 drei Beweidungsintensitäten in einem Blockversuch mit drei Wiederholungen verglichen (ISSELSTEIN *et al.*, 2007; SAHIN DEMIRBAG *et al.*, 2009). Die Beweidungsintensität wurde in einem Standweidesystem mit Färsen über drei vorgegebene Zielnarbenhöhen variiert, die durch wöchentliche Anpassung der Besatzdichte erreicht wurden. Die Behandlungen waren: intensive Beweidung (Zielnarbenhöhe: 6 cm Compressed Sward Height), extensive Beweidung (12 cm) und minimale Beweidung (18 cm).

Der Nährstoffentzug durch die Weidetiere wurde als Produkt der Trockenmasseaufnahme und der mittleren Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Gehalte des Weidefutters berechnet (siehe WRAGE *et al.*, 2011). Für die Nährstoffrückfuhr in den Exkrementen der Weidetiere wurde die Differenz zwischen der Nährstoffaufnahme und der Nährstoffretention in den Tieren angesetzt. Letztere wurde als Produkt der Lebendgewichtszunahme und der Faktoren 0,028 für Stickstoff, 0,01 für Phosphor und 0,002 für Kalium berechnet (MCDONALD *et al.*, 1995). Nach SAFLEY *et al.* (1984) wurde davon ausgegangen, dass die Ausscheidung von Phosphor zu 95 % und die von Kalium zu 28 % über den Kot erfolgte. Die Stickstoffausscheidung über Kot wurde nach SCHMIDT *et al.* (1999) auf 6,5 g je kg Trockenmasseaufnahme angesetzt, die Stick-

stoffausscheidung über Harn nach WHITEHEAD (1995) in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme berechnet (WRAGE *et al.*, 2011). Auf Basis des Übersichtsartikels von HAYNES und WILLIAMS (1993) wurde von 10 Harnstellen mit einer Fläche von je 0,2 m² und 10 Kotstellen von je 0,05 m² je Weidetier und Tag ausgegangen.

Als Maß für die Konzentrierung der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium in Kot- und Harnstellen wurde der Nährstoffkonzentrierungsfaktor (NKF) nach folgender Gleichung berechnet:

NFK = mittlerer Nährstoffentzug (kg ha⁻¹ a⁻¹) / lokale Nährstoffrückfuhr in Exkrementstelle (kg ha⁻¹)

Für die räumliche Verteilung der Exkremente wurde eine Poissonverteilung unterstellt. Der Anteil $A_{h,k}$ der Weidefläche (A), der in einem definierten Zeitraum von h Harnstellen und k Kotstellen bedeckt wird, wurde in Anlehnung an PETERSEN (1956) wie folgt berechnet:

$$A_{h,k} = \{[e^{-(N_h a_h/A)}]^{N_h} (N_h a_h/A)/h!\} * \{[e^{-(N_k a_k/A)}]^{N_k} (N_k a_k/A)/k!\}$$

wobei N_h und N_k die Gesamtzahl der Harn- bzw. Kotstellen innerhalb des Betrachtungszeitraums und a_h und a_k die Fläche einer einzelnen Harn- bzw. Kotstelle repräsentieren.

Für jeden durch eine bestimmte Anzahl von Harn- und Kotstellen charakterisierten Teilflächentyp $A_{h,k}$ wurde die weidetierbedingte teilflächenspezifische Nährstoffbilanz als Differenz zwischen Nährstoffrückfuhr in den Exkrementstellen und mittlerem Nährstoffentzug durch die Weidetiere ermittelt. Die Meidung von Kotstellen durch die Weidetiere wurde hierbei nicht berücksichtigt, da sie in ihrer Dauer sehr variabel und ihr Einfluss auf die Nährstoffbilanz an Kotstellen vernachlässigbar ist.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Mittel über beide Jahre und alle Weideintensitäten wurden die von den Weidetieren aufgenommenen Nährstoffe zu 93 % (Stickstoff), 82 % (Phosphor) und 99 % (Kalium) in den Exkrementen rückgeführt. Mit Ausnahme von Phosphor in Harnstellen war die lokale Nährstoffrückführung in den Exkrementstellen dabei 8- bis 92-mal so hoch wie der jährliche Nährstoffentzug (Tab. 1). Dieser Nährstoffkonzentrierungsfaktor hatte für Stickstoff in Kot- und Harnstellen ähnliche Werte, für Kalium lagen die Werte in Kotstellen etwas höher als in Harnstellen. Die stärkste Nährstoffkonzentrierung erfolgte für Phosphor in Kotstellen. Die Beweidungsintensität hatte einen starken Einfluss auf das Ausmaß der Nährstoffkonzentrierung in Exkrementstellen. Der Nährstoffkonzentrierungsfaktor aller Elemente in Kot- und Harnstellen war bei minimaler Beweidung zwei- bis dreimal so hoch wie bei intensiver Beweidung.

Tab. 1: Nährstoffkonzentrierungsfaktor in Harnstellen und Kotstellen in Abhängigkeit von der Beweidungsintensität. Mittelwerte und Standardabweichungen von drei Wiederholungen und zwei Versuchsjahren.

Beweidungsintensität	Harnstellen			Kotstellen		
	N	P	K	N	P	K
Intensiv	8,4 ± 1,1	0,5 ± 0,0	8,1 ± 0,7	9,0 ± 1,2	35,1 ± 2,1	12,6 ± 1,1
Extensiv	15,0 ± 4,4	0,9 ± 0,2	14,9 ± 3,3	17,9 ± 4,0	66,9 ± 14,5	23,2 ± 5,1
Minimal	21,5 ± 4,5	1,2 ± 0,2	22,0 ± 2,2	28,1 ± 3,4	91,9 ± 14,8	34,2 ± 3,4

Tab. 2: Anteil der Teilflächentypen, die durch die Bedeckung mit h Harnstellen und k Kotstellen charakterisiert sind, an der Gesamtweidefläche ($A_{h,k}$, in %), in Abhängigkeit von Beweidungsintensität und Betrachtungszeitraum.

Teilflächen- typ		1 Jahr			10 Jahre		
h	k	Intensive Beweidung	Extensive Beweidung	Minimale Beweidung	Intensive Beweidung	Extensive Beweidung	Minimale Beweidung
0	0	89,5	94,2	96,0	33,1	54,9	66,6
1	0	7,9	4,5	3,1	29,3	26,3	21,7
2	0	0,4	0,1	0,1	13,0	6,3	3,5
3	0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,8	1,0	0,4
4	0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,8	0,1	< 0,1
0	1	2,0	1,1	0,8	7,3	6,6	5,4
1	1	0,2	0,1	< 0,1	6,5	3,2	1,8
2	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,9	0,8	0,3
3	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,8	0,1	< 0,1
0	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,8	0,4	0,2
1	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,7	0,2	0,1
2	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1

Innerhalb eines Jahres erfolgte bei intensiver Beweidung auf 90 %, bei extensiver Beweidung auf 94 % und bei minimaler Beweidung auf 96 % der Weidefläche keine Nährstoffrückführung durch Exkrementstellen. Auch nach zehn Jahren lag der Anteil dieser Flächen in den drei Behandlungen noch bei 33, 55 und 66 % (Tab. 2). Abb. 1 zeigt die weidetierbedingten Nährstoffbilanzen der in Tab. 2 aufgeführten Teilflächentypen, sofern diese mindestens 2 % der Weidefläche oder 2 % der Gesamtrückfuhr des jeweiligen Nährstoffs repräsentieren. Innerhalb eines Jahres von einer oder mehreren Exkrementstellen (bzw. bei Phosphor von Kotstellen) betroffene Teilflächen weisen stark positive Nährstoffbilanzen auf (Abb. 1a). Über den Betrachtungszeitraum von zehn Jahren ist der Anteil von Flächen mit Nährstoffrückführung durch Exkremente höher, während Teilflächen ohne Nährstoffrückführung eine stark negative Nährstoffbilanz aufweisen. Aufgrund der starken Nährstoffkonzentrierung von Phosphor in Kotstellen liegt der Anteil der Weidefläche mit stark negativen P-Bilanzen nach zehn Jahren in den drei Beweidungsintensitäten intensiv, extensiv und minimal bei 80, 89 und 92 % (Abb. 1b). Nach einem Zeitraum von 100 Jahren würden diese Flächen gemäß der oben angegebenen Gleichung immer noch Anteile von 10, 30 und 44 % der Weidefläche haben.

Die beiden betrachteten Bilanzierungszeiträume, ein und zehn Jahre, sind für die für die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium unterschiedlich relevant. Für Stickstoff sind wegen seiner schnellen Ertragswirksamkeit und relativ kurzen Nachwirkung aufgrund von Verlusten und Immobilisierung bei lokal hoher Zufuhr vor allem Bilanzen innerhalb eines Jahres von Interesse. Bei Phosphor sind aufgrund der langfristigeren Ertragswirkung Bilanzen über längeren Zeitraum von Bedeutung, während Kalium diesbezüglich eine Zwischenstellung einnimmt.

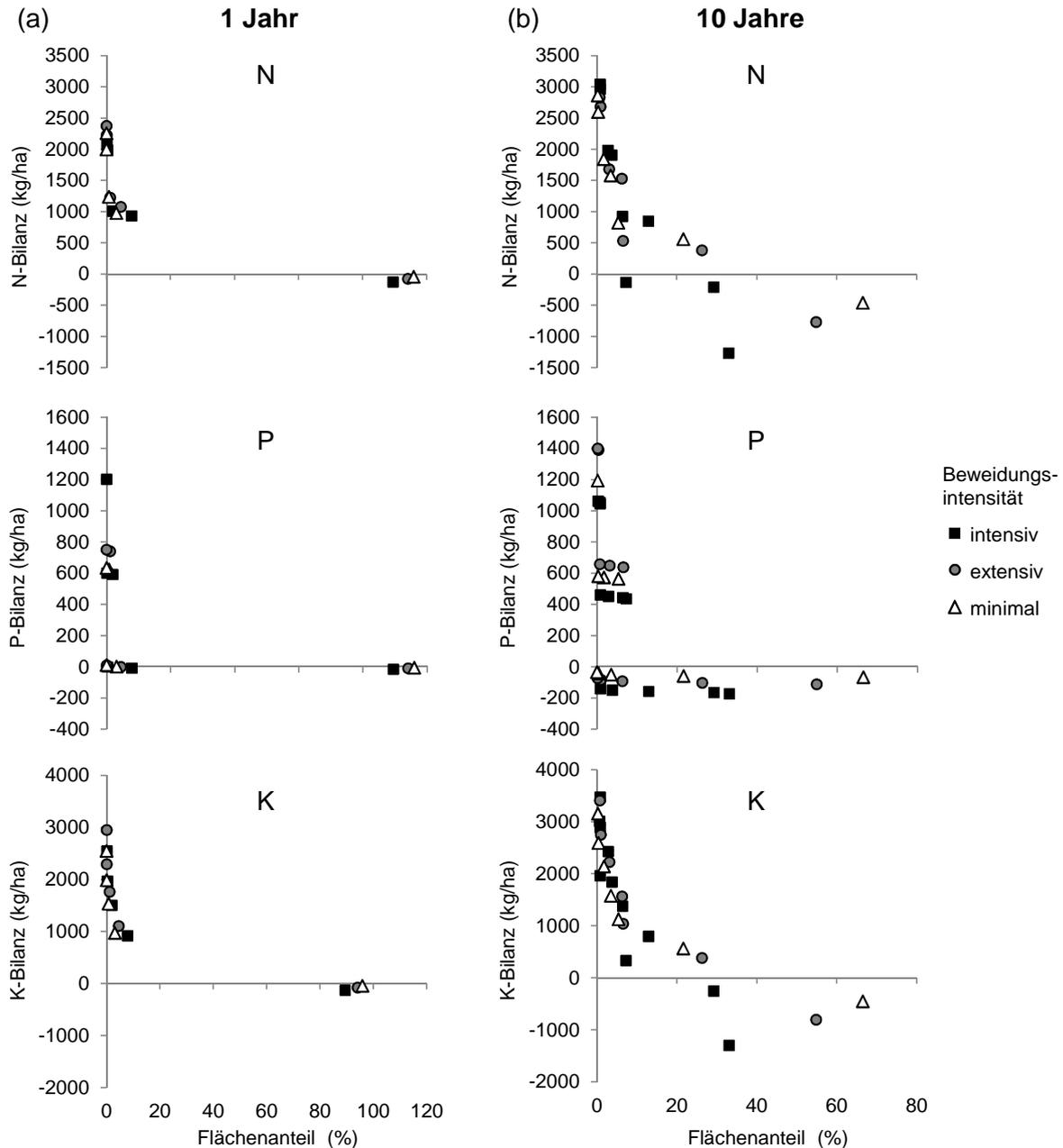


Abb. 1: Flächenanteil und Nährstoffbilanzen der Teilflächentypen, die durch die Bedeckung mit einer bestimmten Anzahl von Harn- und Kotstellen charakterisiert sind, in Abhängigkeit von der Beweidungsintensität über einen Zeitraum von (a) einem Jahr, (b) zehn Jahren.

Der besonders bei sehr extensiven Weidesystemen hohe Anteil von Flächen mit langfristig negativen Nährstoffbilanzen selbst bei Unterstellung einer zufälligen Verteilung der Exkrememente wirft die Frage nach den Mechanismen auf, mit denen die Produktivität dieser Weidebereiche aufrecht erhalten wird. Es ist bekannt, dass der Einflussbereich von Exkrementstellen über die von ihnen direkt bedeckte Fläche hinausgeht (HAYNES und WILLIAMS, 1993). Hierzu tragen die räumliche Ausbreitung der Nährstoffe in der Bodenlösung, aber auch die Erschließung weiter entfernter Nährstoffquellen durch Pflanzenwurzeln und Mykorrhizae bei. Die Bedeutung und räumliche Reichweite der letztgenannten Prozesse in beweidetem Grasland ist dabei kaum untersucht. Weiterhin wird besonders in extensiven Weidesystemen ein hoher Anteil der in der pflanzlichen Biomasse enthaltenen Nährstoffe nicht über das Weidetier,

sondern über abgestorbenes Pflanzenmaterial rückgeführt (THOMAS, 1992). Im Gegensatz zum Kreislauf über das Weidetier ist hiermit im Grasland der gemäßigten Breiten in der Regel keine räumliche Konzentrierung der Nährstoffe verbunden. Über die relative Bedeutung dieser beiden Nährstoffkreisläufe für die Nährstoffversorgung von Grasnarben auf Weideflächen ist jedoch bislang wenig bekannt.

4. Schlussfolgerungen

Die kleinräumige Nährstoffkonzentrierung in Kot- und Harnstellen von Weidetieren führt, selbst bei zufälliger räumlicher Verteilung der Exkremente über die Fläche, sowohl kurz- als auch langfristig zu kleinräumig sehr unterschiedlichen weidetierbedingten Nährstoffbilanzen. Der Effekt dieser Prozesse auf die kleinräumige Heterogenität der Bodennährstoffversorgung auf Skalenebenen unter 1 m² und deren Auswirkungen auf Phytodiversität von extensiven Weiden ist bislang weitgehend unerforscht. Angesichts des Ziels der nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion auf extensiven Weideflächen ist ferner von Interesse, wie stark die räumliche Ausbreitung von Nährstoffen über Durchwurzelung und Mykorrhizae sowie die Nährstoffrückführung über pflanzliche Streu die weidetierbedingten Nährstoffkonzentrierungsprozesse abschwächen.

Literatur

- HAYNES R.J. und WILLIAMS P.H. (1993): Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49, 119-199.
- ISSELSTEIN, J., GRIFFITH, B.A., PRADEL, P. und VENERUS, S. (2007): Effects of livestock breed and grazing intensity on biodiversity and production in grazing systems. 1. Nutritive value of herbage and livestock performance. *Grass and Forage Science* 62, 145–158.
- MCDONALD, P., EDWARDS, R.A., GREENHALGH, J.F.D. und MORGAN, C.A. (1995): *Animal nutrition*, 5. Aufl., Longman, Harlow.
- PETERSEN, R.G., LUCAS, H.L. und WOODHOUSE JR., W.W (1956): The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility: I. Excretal distribution. *Agronomy Journal* 48, 440-444.
- SAFLEY JR., L.M., BARKER, J.C. und WESTERMAN P.W. (1984): Characteristics of fresh dairy manure. *Transactions of the ASABE* 27, 1150-1153.
- SAHIN DEMIRBAG , N., RÖVER K.-U., WRAGE, N., HOFMANN, M. und ISSELSTEIN, J. (2009): Herbage growth rates on heterogeneous swards as influenced by sward-height classes. *Grass and Forage Science* 64, 12–18.
- SCHMIDT, L., WEISSBACH, F., HOPPE, T. und KUHLA, S. (1999): Untersuchungen zur Verwendung der Kotstickstoff-Methode für die Schätzung des energetischen Futterwertes von Weidegras und zum Nachweis der selektiven Futteraufnahme auf der Weide. *Landbauforschung Völkenrode* 49, 123–135.
- THOMAS, R.J. (1992): The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and Forage Science* 47, 133-142.
- WHITEHEAD, D.C. (1995): *Grassland nitrogen*. CAB International, Oxford.
- WRAGE, N., KÜCHENMEISTER, F. und ISSELSTEIN, J. (2011): Isotopic composition of soil, vegetation or cattle hair no suitable indicator of nitrogen balances in permanent pasture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 90, 189-199.

Regeneration nach Trockenstress und morphologische Anpassung an Wassermangel bei fünf Arten von Futtergräsern

L. Breitsameter¹, N. Wrage², J. Isselstein¹

¹ ABTEILUNG GRASLANDWISSENSCHAFT, DEPARTMENT FÜR NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, v.-Siebold-Straße 8, 37075 Göttingen;
Email: lbreits@agr.uni-goettingen.de

² HOCHSCHULE RHEIN-WAAL, FAKULTÄT LIFE SCIENCES, Landwehr 4, 47533 Kleve

1. Einleitung und Problemstellung

Die Produktivität des Grünlands ist in hohem Maße von der Wasserverfügbarkeit abhängig. Daher ist es für die Gestaltung einer nachhaltigen Grünlandwirtschaft wichtig, die Auswirkungen veränderter Niederschlagsmuster auf die Leistungsfähigkeit der Bestände zu kennen.

Untersuchungen zu den Folgen verringerten Niederschlags für Ertrag und Leistungsfähigkeit von Wirtschaftsgrünland in Mitteleuropa sind bereits in unterschiedlicher Form durchgeführt worden. Dabei wurden im Wesentlichen die Ertragsbildung auf dem Skalenniveau der Parzelle, und zelluläre Veränderungen in der Einzelpflanze betrachtet (VOGEL *et al.* 2012, MILBAU *et al.* 2005). Untersuchungen zu durch Trockenstress bedingten Veränderungen der Bestände auf einem dazwischen liegenden Skalenniveau, beispielsweise durch morphologische Veränderungen der Einzelpflanze, sind dagegen seltener. Gerade diese Daten sind wichtig, um die Einwirkung von Trockenstress auf den Pflanzenbestand umfassend bewerten zu können.

Für die vorliegende Studie wurden in einem Gefäßversuch unter Gewächshausbedingungen die morphologischen Veränderungen von fünf wirtschaftlich wichtigen Arten von Futtergräsern untersucht, welche durch eine Periode starken Wassermangels verursacht werden. Ferner wurde das Wachstum der Pflanzen in einer auf den Wassermangel folgenden Regenerationsphase mit guter Wasserversorgung quantifiziert. Dabei wurden die Zielgrößen Triebanzahl, Anzahl neu initiiertes und entfaltetes Blätter und projizierte Blattfläche pro Pflanze analysiert. Zudem wurde die lebende oberirdische Biomasse pro Gefäß als Schätzgröße für den Ertrag ermittelt.

2. Material und Methoden

Im Rahmen des Experiments wurden fünf Arten untersucht: *Dactylis glomerata* Horizont, *Festuca arundinacea* Kora, *F. rubra*. Tagera, *Lolium perenne* Premium und *Poa pratensis* Lato. Die Pflanzen wurden als Monokulturen in PVC-Röhren von 10,4 cm Durchmesser und 30 cm Höhe in einem homogenen 92:8 Sand:Vermiculit-Gemisch (Korngröße < 2 mm) kultiviert. Jeweils zehn Pflanzen einer Art wurden als Keimlinge pro Gefäß pikiert. Die Nährstoffversorgung erfolgte über Zugabe von Rorison-Lösung (HENDRY und GRIME 1993). Der Versuchsaufbau umfasste insgesamt 100 Gefäße in vier randomisierten Blöcken, wobei von jeder Pflanzenart fünf Gefäße pro Block aufgestellt wurden. Während einer Etablierungsphase wurden alle Gefäße gut mit Wasser versorgt. Alle Pflanzen wurden 7 Wochen nach dem Pikieren auf 2 cm Höhe geschnitten. Am Ende der Etablierungsphase – 11 Wochen nach dem Pikieren –

wurde die gesamte ober- und unterirdische Biomasse eines Gefäßes pro Pflanzenart und Block destruktiv geerntet (Ergebnisse werden hier nicht gezeigt), die verbleibenden Pflanzen wurden auf 2 cm Höhe geschnitten.

In den darauf folgenden 5,5 Wochen wurden jeweils zwei Gefäße pro Art und Block weiterhin ausreichend mit Wasser versorgt (Kontrolle; ca. 70 % pflanzenverfügbarer Wassergehalt des Bodens), in den anderen zwei Gefäßen wurde der verfügbare Bodenwassergehalt auf ca. 10 % reduziert und durch Zugießen entsprechender Wassermengen konstant gehalten. Nach Ablauf der 5,5 Wochen Behandlungszeit wurde jeweils ein Kontroll-Gefäß und ein Gefäß mit Wassermangel-Behandlung pro Pflanzenart und Block destruktiv beerntet, indem die gesamte oberirdische Biomasse abgeschnitten wurde (Ernte „TS“). Die Anzahl der Triebe aller geernteten Pflanzen wurde durch Auszählen bestimmt. Je Pflanze wurde ein Trieb zufällig ausgewählt, alle grünen Blätter abgetrennt und die gesamte Blattfläche durch Einscannen und Bildanalyse mithilfe der Software WinRhizo (Regent Instruments) quantifiziert. Die Blätter, welche eine intakte (nicht abgeschnittene) Blattspitze aufwiesen, wurden gezählt. Sie werden als „während der Behandlungsphase initiierte und entfaltete Blätter“ zusammengefasst, da nicht bestimmt werden konnte, ob sie zum Zeitpunkt der vorausgehenden Ernte wegen ihrer geringen Länge von dem Schnitt auf 2 cm Höhe nicht erfasst worden waren, oder ob sie erst nach diesem Zeitpunkt gebildet wurden. Die gesamte oberirdische Biomasse aller beernteten Gefäße wurde bei 60°C 48 Stunden lang getrocknet, anschließend in grüne und tote Anteile sortiert und diese separat gewogen.

Der Aufwuchs der verbliebenen zwei Gefäße pro Art und Block (jeweils ein Gefäß mit vorausgehender Trockenstress-Behandlung und eine Kontrolle) wurde auf 2 cm Höhe geschnitten. Während einer Regenerationsphase von 5,5 Wochen wurden alle Gefäße ausreichend mit Wasser versorgt (ca. 70% pflanzenverfügbarer Wassergehalt des Bodens). Nach Ablauf dieser Zeitspanne wurden alle verbleibenden Gefäße in gleicher Weise wie bei der vorhergehenden Probenahme destruktiv beerntet (Ernte „REG“).

Die statistische Datenauswertung erfolgte mithilfe der Software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2011). Die Daten wurden auf Normalverteilung hin überprüft und für die Analyse nicht transformiert. Intraspezifische Unterschiede in den Mittelwerten der vier Zielgrößen zwischen den Behandlungen wurden für jeden Erntetermin separat mittels t-Test (95 % Konfidenzintervall) untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Werte für die vier betrachteten Zielgrößen grüne oberirdische Biomasse pro Gefäß, sowie projizierte Blattfläche, Anzahl initiiertes und entfaltetes Blätter und Anzahl der Triebe pro Pflanze sind in Tabelle 1 gezeigt. Im Einzelnen lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

Grüne oberirdische Biomasse pro Gefäß

Wasserlimitierung führte bei allen untersuchten Arten zu einer signifikanten ($P < 0,01$) Reduktion der grünen oberirdischen Biomasse im Vergleich zu den gut mit Wasser versorgten Kontrollpflanzen. Bei der Ernte nach einer Regenerationsphase von 5,5 Wochen bei guter Wasserversorgung war dagegen mit Ausnahme von *D. glomerata* ($P = 0,04$) bei keiner Art eine im Vergleich zur Kontrolle signifikant gerin-

gere Biomasse bei den Pflanzen zu beobachten, die zuvor Wasserlimitierung ausgesetzt worden waren.

Blattfläche pro Pflanze

Am Ende der 5,5-wöchigen Trockenstressperiode war die projizierte Blattfläche der Einzelpflanzen bei allen fünf Arten signifikant ($P < 0,05$) geringer als bei der nicht behandelten Kontrolle. Während der Regenerationsphase bei guter Wasserversorgung entwickelten sich die untersuchten Arten im Hinblick auf diese Zielgröße in unterschiedlicher Weise: Bei *D. glomerata* und *F. arundinacea* war die Blattfläche pro Pflanze im Vergleich zu der der Kontrollpflanzen signifikant ($P < 0,01$) größer. Bei *F. rubra*, *L. perenne* und *P. pratensis* bestanden dagegen keine signifikanten Unterschiede in der Blattfläche pro Pflanze zwischen den behandelten und den Kontrollpflanzen.

Anzahl initiiertes und entfaltetes Blätter pro Pflanze

Die Anzahl der während der Trockenstressphase initiierten und entfaltenen Blätter war bei den behandelten Pflanzen signifikant ($P < 0,05$) geringer als bei den Kontrollpflanzen. Während der Regenerationsphase zeigten sich auch in Bezug auf diese Zielgröße Unterschiede zwischen den Arten. Bei *D. glomerata* und *F. rubra* unterschieden sich behandelte und Kontrollpflanzen nicht signifikant. Dies steht im Gegensatz zu den anderen Arten, bei denen die zuvor Wasserlimitierung ausgesetzten Pflanzen signifikant mehr ($P < 0,05$) Blätter bildeten als die Kontrollen.

Wurde die Summe der initiierten und entfaltenen Blätter für jede Art über Behandlungs- und Regenerationsphase zusammen gebildet, so unterscheiden sich die Werte der behandelten und der Kontrollpflanzen bei keiner der betrachteten Arten signifikant voneinander.

Anzahl der Triebe pro Pflanze

Lediglich bei *P. pratensis* war die Anzahl der Triebe pro Pflanze nach einer Trockenstressperiode von 5,5 Wochen im Vergleich zu den Kontrollpflanzen signifikant ($P < 0,05$) reduziert. Nach der 5,5-wöchigen Regenerationsphase bei guter Wasserversorgung war bei keiner der untersuchten Arten ein signifikanter Unterschied in der Triebanzahl zwischen zuvor behandelten und Kontrollpflanzen nachweisbar. Bei *L. perenne* und *P. pratensis* war eine marginal signifikante Tendenz zu einer reduzierten Triebanzahl bei den zuvor mit Trockenstress behandelten Pflanzen im Vergleich zur Kontrolle erkennbar ($P = 0,05$).

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass in Hinblick auf den Ertrag während der auf Trockenstress folgenden Periode mit guter Wasserversorgung bei vier der fünf betrachteten Arten keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrolle und behandelten Pflanzen festgestellt werden konnten. Lediglich bei *D. glomerata* war bei den zuvor Wasserlimitierung ausgesetzten Kulturen ein statistisch nachweisbar reduzierter Ertrag im Vergleich zur Kontrolle feststellbar. Bei der Mehrheit der untersuchten Arten beschränkte sich also der durch Wasserlimitierung verursachte Ertragsausfall auf die Trockenstressperiode, und es waren durch eine einzelne Phase der Wasserlimitierung keine über die Trockenstressperiode hinaus reichenden signifikanten Ertragsauswirkungen der Wasserlimitierung feststellbar.

In Bezug auf die betrachteten morphologischen Zielgrößen Triebanzahl, Anzahl initiiert und entfalteter Blätter und projizierte Blattfläche pro Pflanze konnte dagegen festgestellt werden, dass sich Anpassungen an die Wasserlimitierung bei den untersuchten Arten in verschiedener Ausprägung und in unterschiedlichem Ausmaß auch während der Regenerationsphase bei guter Wasserversorgung manifestierten.

Auf die beiden morphologischen Blattparameter hatte Trockenstress bei allen untersuchten Arten eine signifikant negative Wirkung. Diese war allerdings bis zum Ende der Regenerationsphase bei allen Arten aufgehoben, und bei einem Teil der Arten war bei den zuvor Wasserlimitierung ausgesetzten Pflanzen sowohl die projizierte Blattfläche als auch die Anzahl der entfalteten Blätter größer als die der Kontrolle. Es fand somit in Bezug auf diese Parameter bereits in der direkt auf den Trockenstress folgenden Periode bei guter Wasserversorgung eine vollständige Kompensation beziehungsweise eine Überkompensation der unter Trockenstress erfolgten Anpassungen statt.

Die Beobachtung, dass bei einer der fünf Arten am Ende der Trockenstressphase die Triebzahl der behandelten Pflanzen signifikant geringer war als die der Kontrolle, und bei zwei Arten diese Tendenz nach der Regenerationsphase marginal signifikant ($P = 0,05$) war, deutet darauf hin, dass die Triebanzahl eine morphologische Größe ist, welche im Vergleich zu den betrachteten Blattparametern eine relativ geringe Plastizität aufweist, und eine Kompensation der unter Trockenstress erfolgten Anpassung vergleichsweise langsamer als bei Blattparametern erfolgt. Wiederholte Phasen der Wasserlimitierung in geringem zeitlichem Abstand könnten somit zu einer langfristigen Reduktion der Triebdichte des Bestands führen (BUSSO und RICHARDS 1995).

Tab. 1: Grüne oberirdische Biomasse [g Trockenmasse/Gefäß], Anzahl initiiert und entfalteter Blätter, projizierte Blattfläche pro Pflanze [cm^2] und Triebanzahl pro Pflanze der untersuchten Arten bei Trockenstressbehandlung (W-) und guter Wasserversorgung (Kontrolle) zum Erntezeitpunkt direkt am Ende einer Trockenstressperiode von 5,5 Wochen (TS), sowie zum Erntezeitpunkt nach einer auf die Trockenstressbehandlung folgenden Regenerationsphase von 5,5 Wochen bei guter Wasserversorgung (REG). Signifikante intraspezifische Unterschiede innerhalb eines Erntezeitpunkts sind mit Buchstaben gekennzeichnet, Signifikanz der Unterschiede ermittelt durch t-Test (95% Konfidenzintervall) ***: $P < 0,001$; **: $0,001 < P < 0,01$; *: $0,01 < P < 0,05$

	TS			REG		
	Kontrolle (K)	W- Verhältnis W- zu K	Verhältnis W- zu K	Kontrolle (K)	W- Verhältnis W- zu K	Verhältnis W- zu K
Biomasse [g TM/Gefäß]						
<i>Dactylis glomerata</i>	1,39 ^b ***	0,70 ^a	0,50	0,79 ^B *	0,72 ^A	0,91
<i>Festuca arundinacea</i>	1,28 ^b **	0,61 ^a	0,48	0,92	0,95	1,03
<i>Festuca rubra</i>	0,97 ^b ***	0,51 ^a	0,52	0,59	0,46	0,78
<i>Lolium perenne</i>	1,15 ^b ***	0,61 ^a	0,53	0,79	0,72	0,91
<i>Poa pratensis</i>	1,02 ^b ***	0,52 ^a	0,51	0,71	0,69	0,97
Triebzahl pro Pflanze						
<i>Dactylis glomerata</i>	4,8	3,7	0,77	4,2	3,6	0,62
<i>Festuca arundinacea</i>	5,1	4,9	0,96	4,8	5,8	1,21
<i>Festuca rubra</i>	12,6	11,4	0,90	13,0	8,2	0,63

Posterbeiträge: Sektion Freie Themen

<i>Lolium perenne</i>	6,5	5,8	0,89	6,3	4,4	0,69
<i>Poa pratensis</i>	6,0 ^{b*}	4,5 ^a	0,75	7,9	3,5	0,44

Anzahl entfalteter Blätter
pro Pflanze

<i>Dactylis glomerata</i>	1,48 ^{b*}	1,00 ^a	0,68	1,10	1,48	1,34
<i>Festuca arundinacea</i>	1,50 ^{b*}	0,93 ^a	0,62	1,05 ^{a**}	1,58 ^b	1,50
<i>Festuca rubra</i>	1,95 ^{b*}	1,42 ^a	0,73	1,33	1,73	1,30
<i>Lolium perenne</i>	2,25 ^{b*}	1,56 ^a	0,70	1,30 ^{a**}	1,82 ^b	1,40
<i>Poa pratensis</i>	1,84 ^{b**}	1,43 ^a	0,72	1,35 ^{a**}	1,82 ^b	1,35

Projizierte Blattfläche pro
Pflanze [cm²]

<i>Dactylis glomerata</i>	18,64 ^{b *}	11,28 ^a	0,91	13,06 ^{A *}	22,69 ^B	1,74
<i>Festuca arundinacea</i>	13,89 ^{b **}	5,62 ^a	0,40	10,00 ^{A ***}	14,67 ^B	1,47
<i>Festuca rubra</i>	9,67 ^{b **}	5,19 ^a	0,54	5,83	6,23	1,07
<i>Lolium perenne</i>	13,75 ^{b *}	7,99 ^a	0,58	10,15	11,00	1,08
<i>Poa pratensis</i>	20,11 ^b ***	12,26 ^a	0,61	17,16	17,41	1,01

4. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lässt sich ableiten, dass mit Ausnahme von *D. glomerata* bei den fünf untersuchten Arten von Futtergräsern Ertragseinbußen in Folge von Trockenstress lediglich während der Periode der Wasserlimitierung eintreten, und keine anhaltenden Mindererträge während der auf Trockenstress folgenden Zeit bei guter Wasserversorgung zu erwarten sind. Durch die Wasserlimitierung werden bei allen Arten signifikante morphologische Anpassungen in Bezug auf die Blattparameter bedingt, welche bei guter Wasserversorgung binnen kurzer Zeit kompensiert oder überkompensiert werden. Die Anpassung in Bezug auf die Anzahl der Triebe erscheint dagegen als weniger plastisch, wodurch eine durch Trockenstress reduzierte Triebanzahl bei einigen Arten auch während der auf Wasserlimitierung folgenden Regenerationsphase nicht ausgeglichen wurde.

Literatur

- BUSSO, C.A., RICHARDS, J.H. (1995): Drought and clipping effects on tiller demography and growth of two tussock grasses in Utah. *Journal of Arid Environments* 29, 239–251
- HENDRY, G.A.F., GRIME, J.P. (Hrsg.) (1993): *Methods in Comparative Plant Ecology. A Laboratory Manual*. Chapman & Hall Verlag, London [u. a.]
- MILBAU, A., SCHEERLINCK, L.; REHEUL, D., de CAUWER, B., NIJS, I. (2005): Ecophysiological and morphological parameters related to survival in grass species exposed to an extreme climatic event. *Physiologia Plantarum* 125, 500–512
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- VOGEL, A., SCHERER-LORENZEN, M., WEIGELT, A. (2012): Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. *PloS One* 7, e36992

Grünlandverbesserung als Möglichkeit zur Steigerung der N-Effizienz

Elsaesser, M.

LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM BADEN-WÜRTTEMBERG (LAZBW),
D-88326 Aulendorf

1. Einleitung

Dauergrünland ist immer noch eine nicht bzw. sub-optimal genutzte Ressource für die Produktion von Protein und insbesondere deshalb trifft die Grünlandverbesserung die neue Zielsetzung deutscher Landwirtschaftspolitik der Vermeidung von gentechnisch verändertem (Import)Soja perfekt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten den Eiweißertrag von Grünland zu steigern. Neben früher Nutzung, kommen Steigerung der N-Düngung, die Verbesserung der N-Ausnutzung und eine Verbesserung der botanischen Zusammensetzung der Grünlandbestände mit mehr Leguminosen in Frage. Unglücklicherweise haben gerade die Grünlandbestände in Süddeutschland hohe Anteile an Kräutern und Unkräutern und reagieren nur eingeschränkt positiv auf Stickstoffdüngung (ELSAESSER, 2005) im Gegensatz zu Gräsern. Daher kann Grünlandverbesserung mit dem Ziel den Anteil an Gräsern zu erhöhen eine sehr geeignete Methode sein, die Grünlandproduktivität zu steigern. Obwohl eigentlich in den Folgejahren nach der Behandlung eine Steigerung der Erträge erwartet werden kann (TAUBE AND CONIJN, 2007), bringt Nachsaat von Dauergrünland nicht immer Vorteile (SOEGAARD *et al.*, 2007). Zudem wurden die Kosten der Grünlanderneuerung unter Berücksichtigung des Ertragsausfalls im Anlagejahr nicht exakt berechnet. Des weiteren genügt es nicht für die Bewertung des Erfolgs von Grünlandverbesserungsmaßnahmen nur die Ertragskomponente zu berücksichtigen, denn die botanische Zusammensetzung bzw. deren Veränderung ist von entscheidender Bedeutung. Deshalb müssen Methoden der Grünlandverbesserung dann und wann erneut auf ihre Tauglichkeit hin überprüft werden.

2. Material und Methoden

Das Experiment wurde 2009 als randomisierte Blockanlage mit 3 Wiederholungen auf einem Dauergrünland in Aulendorf angelegt (600 m ü. N.N.; 950 mm Jahresniederschlag; Parzellengröße 100 m²). Folgende Behandlungen wurden untersucht: **T1**. ohne Behandlung; **T2**. Totalerneuerung des 2. Aufwuchses nach Behandlung mit 4 kg ha⁻¹ Round up Ultra max (45% glyphosate) und Direktsaat nach 3 Wochen; **T3**. Totalerneuerung des 2. Aufwuchses nach Behandlung mit einer Mischung von 1 kg ha⁻¹ Round up Ultra max (45% glyphosate) und 10 kg ha⁻¹ schwefelsaurem Ammoniak (SSA) und Direktsaat 3 Wochen später; **T4**. Nachsaat mit Vredo Drillsaat einer Mischung von 25 kg ha⁻¹ NSF (*Lolium perenne* 48%, *Phleum pratense* 24%, *Poa pratensis* 16% und *Trifolium repens* 12%) zum 2. Aufwuchs; **T5**. zweimalige Übersaat im Jahr mit einem Schleuderstreuer mit 5 kg ha⁻¹ Saatmischung NSF zum 2. und 4. Aufwuchs; **T6**. Totalerneuerung nach mechanischer Vorbehandlung mit dem Rototiller. Jede Erneuerungsmaßnahme (T2, T3 und T6) wurde mit 35 kg ha⁻¹ einer Saatmischung GSWI (*Lolium perenne* 59%, *Poa pratensis* 13%, *Phleum pratense* 19%, *Trifolium repens* 9%) eingesät. Alle Pazellen wurden regulär 5 mal im Jahr gemäht und mit 120, 260 und 240 kg ha⁻¹ Stickstoff als KAS in den Jahren 2009, 2010 und 2011 gedüngt. Im ersten Jahr konnten die total erneuerten Teilstücke nur dreimal

geschnitten werden. TM-Erträge, Rohproteingehalte und Nettoenergieerträge wurden untersucht und die Veränderungen der botanischen Zusammensetzung wurde beobachtet ("Ertragsanteilschätzung" nach Klapp, 1949). Die N - Effizienz wurde als kg TM kg N⁻¹ gedüngt bestimmt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Nach drei Versuchsjahren zeigten die Varianten der Totalerneuerung (T2, T3 und T6) nicht die höchsten Trockenmasse- und Rohproteinerträge. Ganz im Gegenteil, die Ertragsverluste nach Totalerneuerung der Bestände während des ersten Jahres waren zu hoch und konnten nicht kompensiert werden (Abb. 1). Höchste Trockenmasseerträge (im Schnitt der 3 Jahre) wurden bei der nachgesäten Variante beobachtet (T4 und T5), wobei Übersaat (T5) noch höhere Erträge als Nachsaat mit Schlitzdrillmaschine erbrachte (T4). Totalerneuerung (T2, T3 und T6) zeigte durchschnittlich 7 t TM ha⁻¹ niedriger als die nachgesäten Bestände.

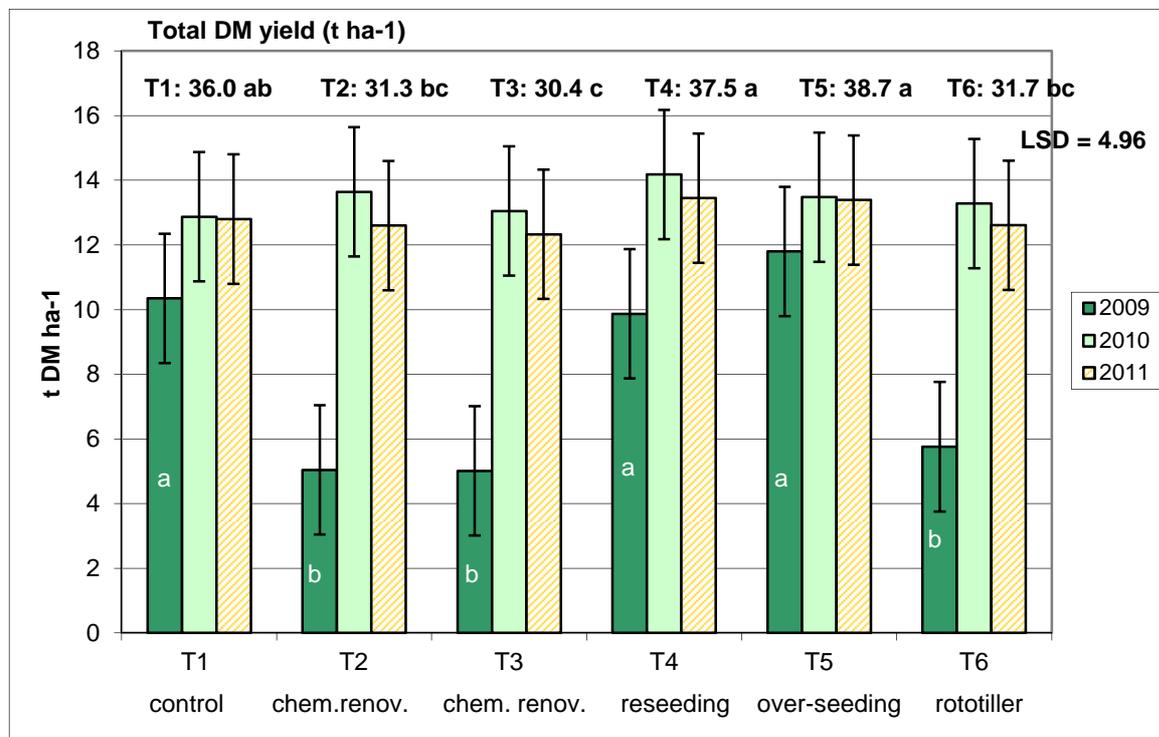


Abb. 1. Vergleichende Betrachtung der mittleren und jährlichen TM-Erträge (Summe von 2009-2011) in t TM ha⁻¹ (unterschiedliche Buchstaben zeigen statistisch gesicherte Differenz mit P < 0.05)

Die neu gesäten Bestände waren weder in der Lage die Trockenmasseerträge nach Totalerneuerung zu kompensieren (Abb. 1), noch wies die botanische Zusammensetzung der Bestände höhere Anteile an Gräsern und Leguminosen auf (Abb. 2). Die niedrigeren Erträge waren auch beim Rohprotein zu beobachten. Hier liegen allerdings aus labortechnischen Gründen nur die Ergebnisse der ersten beiden Versuchsjahre vor (Tabelle 1). Allerdings hatte nachgesätes Grünland um durchschnittlich 0.3 - 0.5 t ha⁻¹ höhere Proteinerträge aufzuweisen. Die Stickstoffeffizienz ausgedrückt als kg Trockenmasse je kg Düng-N war bei der Variante 5 (regelmässige Übersaat) am höchsten, wohl weil hier der Bestand sich am besten entwickelte. Nachwüchse nach

Totalerneuerung hatte niedrigere Proteinerträge und eine entsprechend niedrige N-Effizienz im ersten Jahr nach der Behandlung die sich allerdings in den Folgejahren ausglich (Tabelle 1).

Betrachtet man die Entwicklung der botanischen Zusammensetzung der Grünlandbestände, ist es offensichtlich nicht gelungen durch die Totalerneuerung Bestände mit höherem Anteil an Weissklee zu etablieren. Ganz im Gegenteil hatte die regelmässige Übersaat höchste Kleeanteile aufzuweisen (Tabelle 2).

Tab. 1. Rohproteinerträge (2009-2010) und N Effizienz (Mittelwerte; unterschiedliche Buchstaben symbolisieren statist. Gesicherten Differenzen: $P < 0.05$)

Behandlung	Rohprotein (t ha ⁻¹)			Neff (kgTM kgN ⁻¹)		
	2009	2010	Mittel	2009	2010	2011
T1 unbehandelte Kontrolle	1.66 b	2.27 a	1.97 a	8.6 a	5.0	5.3
T2 Totalerneuerung 4 kg ha ⁻¹ Roundup Ultra max	0.92 c	2.40 a	1.66 a	4.2 b	5.2	5.3
T3 Totalerneuerung mit 1 kg ha ⁻¹ Roundup + 10 kg ha ⁻¹ schwefelsaurem Ammoniak	0.99 c	2.36 a	1.67 a	4.2 b	5.0	5.1
T4 1 x Nachsaat mit Vredo slot seeder	1.71 ab	2.48 a	2.09 a	8.2 a	5.5	5.6
T5 regelmässige Übersaat (2 x jährlich)	2.03 a	2.43 a	2.23 a	9.8 a	5.2	5.6
T6 Totalerneuerung mit dem Rototiller	1.08 c	2.21 a	1.65 a	4.8 b	5.1	5.3
LSD	0.356	0.277	0.697	1.7	n.s.	n.s.

Tab. 2. Anteile an Leguminosen und Gräsern in den Grünlandbeständen nach 3 Versuchsjahren (Boniturtermin: September 2011) (unterschiedliche Buchstaben symbolisieren statistisch gesicherte Differenzen $P < 0.05$)

Behandlungen	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Weissklee %	5.0 abc	5.3 ac	5.3 ac	5.3 abc	9.7 c	2.3 ab
Gräser %	58.3 b	44.3 a	70.7 c	55.7 ab	58.3 abc	55.3 ab

4. Fazit

Die unterschiedlichen Methoden zur Grünlandverbesserung werden sowohl zur Verbesserung der botanischen Zusammensetzung der Grünlandbestände als auch zur Steigerung der Trockenmasse- und Proteinerträge verwendet. Gleichwohl sind diese Effekte nicht garantierbar. In unserem Experiment war die Nachsaat von Dauergrünland erfolgreicher als die Neuansaat, wobei der Behandlungstermin für die Neuansaat im Frühjahr lag. Damit sind die Verluste an Trockenmasse deutlich höher als wenn der Behandlungstermin im Herbst liegen würde, denn die Verluste der ersten beiden weit ertragreichsten Aufwüchse konnten nicht kompensiert werden. Nachsaaten sowohl mit Vredo-Schlitzsaat als auch häufige Übersaat scheinen sowohl die beste als auch die ökonomischste Variante zu sein. Dies gilt sowohl für die Trockenmasse als auch die Proteinproduktion. Totalerneuerung war in der Lage den Prozentsatz an Gräsern zu erhöhen.

Literatur

ELSÄBER, M. (2005) Performance of a reseeded grassland (Trisetetum) in Germany. *Grassland Science in Europe*. Tartu. Vol. 10. 477-480.

KLAPP, E. (1949) Landwirtschaftliche Anwendung der Pflanzensoziologie. *Verlag Eugen Ulmer*, Stuttgart.

SOEGAARD, K., GIERUS, M., HOPKINS, A. AND BOMMELÉ, L. (2007) Effects of grassland renovation on crop and animal performance. In: *Grassland resowing and grass-arable crop rotations*. Third and fourth workshop of the EGF working group. Report 148. Wageningen Plant Research International. 95 - 105.

TAUBE, F. AND CONIJN, J. (2007) Grassland renovation in Northwest Europe: current practices and main agronomic and environmental questions. In: *Grassland resowing and grass-arable crop rotations*. Third and fourth workshop of the EGF working group. Report 148. Wageningen Plant Research International. 35-38.

Effekte von Bewirtschaftungsintensität und Artkomposition auf Struktur und Lichtnutzung im Grünland

U. Petersen*, J. Isselstein

GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, DEPARTMENT FÜR
NUTZPFLANZENWISSENSCHAFTEN, INSTITUT FÜR GRASLANDWISSENSCHAFT,
Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen
*E-Mail: Ute.Petersen@agr.uni-goettingen.de

1. Einleitung und Problemstellung

Höhere Erträge bei artenreicher Vegetation beruhen vor allem auf komplementärer Ressourcenausnutzung, wie bei Großexperimenten mit angesäten Pflanzenbeständen gezeigt wurde (u.a. HECTOR *et al.* 1999, KIRWAN *et al.* 2007). Wie die Ertragsbildung in unterschiedlich artenreichen Beständen funktioniert, ist bislang noch kaum untersucht. Neben den Ressourcen Wasser und Nährstoffen kommt gerade bei gedüngten Systemen dem Licht als limitierender Faktor eine besondere Rolle zu (HAUTIER *et al.* 2009, SCHWANK 1984). Über die Effizienz der Lichtausnutzung entscheidet neben physiologischen und morphologischen Parametern wie Blattfläche und Blattstellung vor allem die vertikale Struktur eines Bestandes. Die Struktur ist allerdings keineswegs stabil, sondern wird unter anderem durch Nährstoffzuführung verändert. Ebenso spielt das Alter der untersuchten Bestände eine Rolle. Frisch etablierte Pflanzenbestände, wie sie häufig in Biodiversitätsexperimenten verwendet werden, befinden sich in den ersten Jahren nach der Ansaat noch nicht im Gleichgewicht, erst nach und nach bildet sich eine stabile Vegetation heraus, ergo kann auch die vertikale Struktur noch nicht stabil sein (THOMPSON 2005).

Beim Grassland Management Experiment (GrassMan) wurde die bestehende Grasnarbe eines Dauergrünlands mittels Herbiziden so manipuliert, dass drei Pflanzenbestände mit verschiedenen Verhältnissen von graminoiden zu dikotylen Arten entstanden (45, 70 und 92 % Grasanteil). Ziel der Untersuchungen war, die Biomasse- und Blattflächenverteilung der Grasnarben mit Lichtabsorptionskurven in Verbindung zu setzen. Es soll geklärt werden, ob neben der Bewirtschaftung auch die Grasnarbenkomposition einen Einfluss auf die Ertragsbildung und Lichtnutzung hat.

2. Material und Methoden

Das GrassMan Experiment wurde im Frühjahr 2008 auf einem jahrzehntelang als Sommerweide genutzten Dauergrünland bei Neuhaus im Solling (490 m ü. NN) angelegt. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 6.9 °C, der jährliche Niederschlag liegt bei 1031 mm (1961-1990, Deutscher Wetterdienst (DWD)). Neben dem Grasnarbentyp werden Düngungs- und Nutzungsintensität variiert, so dass sich zwölf verschiedene Behandlungsvarianten ergeben (Tab. 1). Diese sind in 15 x 15 m großen Parzellen 6 Mal repliziert, welche in einem Lateinischen Rechteck angeordnet sind (6 Reihen und 6 Blöcke à 2 Spalten).

Tab. 1: Experimentelle Faktoren und Behandlungsvarianten des GrassMan Experiments

Faktor	Level	Abkürzung
Grasnarbentyp	1.1 Unbehandelte Kontrolle	Co
	1.2 Dikotyl-reduziert (Herbizid Behandlung) ^a	–Dic
	1.3 Monokotyl-reduziert (Herbizid Behandlung) ^a	–Mon
Schnitthäufigkeit	2.1 Ein Mal gemäht (Juli)	1
	2.2 Drei Mal gemäht (Mai, Juli, September)	3
Düngungsintensität	3.1 Keine Düngung	x
	3.2 180/30/100 kg NPK ha ⁻¹ a ⁻¹ ^b	NPK

^a Aktive Wirkstoffe gegen Dikotyle: Fluoroxypyr+Triclopyr and Mecoprop-P (jeweils 3l ha⁻¹), gegen Gräser: Clethodim (0.5l ha⁻¹).

^b N Dünger: Kalk-Ammon-Salpeter N27, P&K Dünger: Thomaskali® (8% P₂O₅, 15% K₂O, 20% CaO).

Für die Strukturanalyse wurden vor jeder Mahd des Jahres 2009 pro Parzelle drei 1 m lange Lichtprofile (photosynthetisch aktive Strahlung, PAR) in den Höhengritten 0-7 cm (Schnitthöhe bei der Mahd), 7-17 cm, 17-27 cm usw. bis zur Oberkante der Grasnarbe mit dem SunScan (Typ SS1; Delta-T Devices Ltd) aufgenommen. Um den Anteil des transmittierten Lichts pro Schicht (Transmission I/I₀) berechnen zu können, wurde mit einem Referenzsensor oberhalb der Grasnarbe gearbeitet. Zusätzlich wurden aus jedem der Profile 15 x 15 cm große Biomasse-Proben nach der „stratified-clip-method“ (MONSI & SAEKI 1953) mit den für die Lichtmessung verwendeten Schichtdicken geerntet. Sie wurden anschließend nach funktionellen Gruppen (Gras, Kraut, Leguminosen, totes Material) sortiert, bei 105°C 48 h getrocknet und anschließend gewogen. Um für die im Juli geernteten Proben über eine Regression zwischen Trockengewicht und spezifischer Blattfläche den Blattflächenindex (LAI) schätzen zu können, wurden zum Erntezeitpunkt frische Proben geschnitten. Diese wurden nach funktionellen Gruppen, Blatt und Stängel sortiert und deren Fläche (jeweils die Blattoberseite bei flachen Blättern und die Gesamtoberfläche bei gerollten Blättern und Stängeln) mit Hilfe von WinRhizo (Regent Instruments Inc. 2007) ausgemessen, getrocknet und gewogen.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte in R (2.12.2) mit Hilfe von ANOVAS und linear models. Für Vergleiche von Masseanteilen (Verhältnis Schichtmasse : gesamt Masse) wurden general linear models mit binomialer Fehlerverteilung verwendet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die vertikale Verteilung der Biomasse im Raum auf Stoppeln (Höhe < 7 cm) und erntefähige Biomasse/Ertrag (> 7 cm) wurde vor allem durch die Bewirtschaftung (Schnittzeitpunkt, Düngung) bestimmt. Lediglich beim dritten Schnitt im September wirkte sich keiner der Faktoren auf diese vertikale Anordnung aus. Bis zum zweiten Schnitt im Juli war die Ertragssteigerung durch die Düngung in den –Mon Narben signifikant geringer als in den –Dic Grasnarben (Interaktion Grasnarbentyp x Düngung, $P = 0,05$), was aber nicht zur Grasnarbentyp induzierten Ertragsminderung führte (kein Grasnarbeneffekt im Juli 2009, PETERSEN *et al.* 2010). Die Lichtausnutzung in den Beständen wurde vorrangig durch die Bewirtschaftung bestimmt. Die Menge des transmittierten Lichts in Bodennähe war in den 3 Mal gemähten, ungedüngten Parzellen deutlich höher als in den übrigen Bewirtschaftungsvarianten (Tab. 2). Innerhalb einer Bewirtschaftungsvariante unterschieden sich die Grasnarbenty-

pen nicht in der Menge des transmittierten Lichts. Über alle Behandlungen hinweg erwiesen sich die –Dic Narben jedoch als durchlässiger als die –Mon Narben (linearer Kontrast, $P = 0,017$).

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Transmission (I/I₀) in der einzelnen Behandlungsvarianten in 0 cm Höhe und dazugehörige ANOVA Tabelle (bereinigt um die Faktoren Reihe und Block, Daten log transformiert).

	Ungedüngt (x)		NPK	
	1 Schnitt	3 Schnitte	1 Schnitt	3 Schnitte
Kontrolle	0,06 ± 0,04	0,34 ± 0,19	0,01 ± 0,004	0,04 ± 0,04
–Dic	0,08 ± 0,08	0,27 ± 0,19	0,07 ± 0,12	0,08 ± 0,09
–Mon	0,04 ± 0,02	0,19 ± 0,11	0,01 ± 0,01	0,06 ± 0,09
	df	MSq	F-Wert	P
Grasnarbe	2	1,65	3,08	0,053
Schnitt	1	26,05	48,66	<0,001
Düngung	1	53,54	100,05	<0,001
Schnitt x Düngung	1	2,17	4,06	0,049

Auch die Blattfläche (hier wurde nur die Fläche der Blätter verwendet) unterschied sich innerhalb einer Behandlungsvariante nicht zwischen den Grasnarbentypen. Lediglich die Fähigkeit, Nährstoffe in Blattfläche umzusetzen, war in den –Dic Grasnarben signifikant stärker ausgeprägt als in den beiden anderen (Interaktion Grasnarbentyp x Düngung, $P = 0,015$).

Die Strukturprofile der Biomasse und in gewissem Maße auch die der Blattflächen zeigten die typischen konvexen (3x Variante) bzw. konkav-konvexen Formen (die übrigen Varianten), die bei Nährstoffarmut bzw. -überschuss ausgebildet werden (teilweise in Abb. 1). Die räumliche Anordnung der Blattfläche und damit die Lichtabsorptionskurven wurden, vor allem in den gedüngten Varianten, neben den Hauptfaktoren der Bewirtschaftung auch vom Verhältnis der graminoiden Arten zu den Dikotylen in der Narbe bestimmt (Abb. 1). Die Kontroll-Grasnarbe rangierte zwischen den zwei manipulierten Grasnarben, so dass signifikante Unterschiede nur zwischen zwei extremsten Varianten –Dic und –Mon zu finden waren. Die dikotyl reduzierten Grasnarben hatten in der intensivsten Bewirtschaftungsvariante 3NPK in der Schicht zwischen 7 und 17 cm den größten Teil ihrer Blattfläche konzentriert (Abb. 1 e, f), während die monokotyl reduzierten Narben bis in diese Höhe schon mehr Licht absorbiert hatten (flachere Transmissionskurve) und signifikant weniger Blattfläche in dieser tieferen Schicht ausgebildet hatten ($P = 0,05$).

Das Schnittregime regte die Blattflächenneubildung in der verschiedenen Grasnarbentypen in unterschiedlichem Maße an (Interaktion Grasnarbentyp x Schnittregime in der Bestandshöhe 17-27 cm, $P < 0,001$). Während in der Kontroll- und –Dic Grasnarbe der Anteil der Blattfläche in dieser Höhe verglichen mit den ein Mal geschnittenen Parzellen im 3-Schnitt Regime deutlich abnahm (Abb. 1 a, b, d, e), war diese Abnahme in den –Mon Grasnarben nur in der ungedüngten Variante zu beobachten (Daten nicht gezeigt). In der gedüngten Variante stimulierte der erste Schnitt im Mai die Bildung von Blattfläche in der Schicht von 17-27 cm (Abb. 1 c, f).

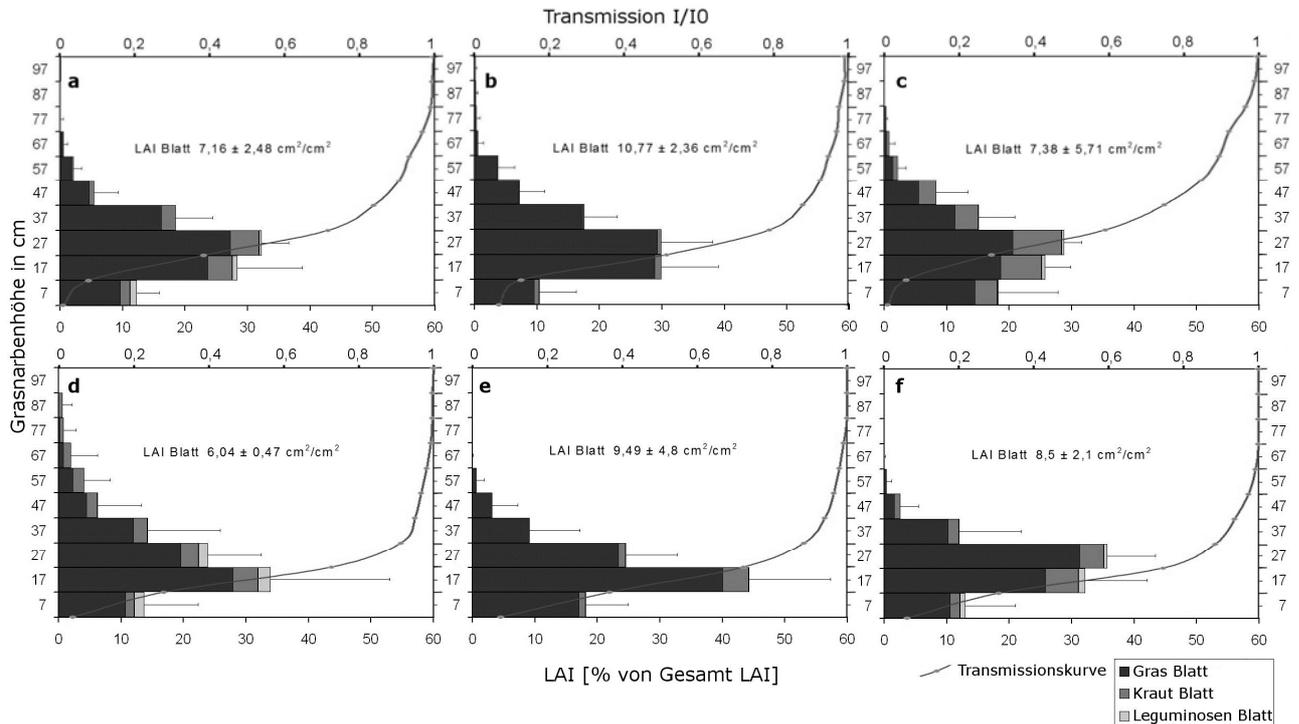


Abb. 1: Profile der Blattflächenverteilung getrennt nach funktionellen Gruppen in den gedüngten Behandlungsvarianten mit Licht-Transmissionskurven und Mittelwerten sowie Standardabweichungen der Blattfläche Juli 2009. a) Variante Co1NPK, b) –Dic1NPK, c) –Mon1NPK, d) Co3NPK, e) –Dic3NPK f) –Mon3NPK.

Die Eigenschaft der Gräser, die gewonnenen Photosynthate in oberirdische Pflanzenorgane und vor allem in die Vergrößerung der Blattfläche zu investieren (KÖRNER 1994), wurde in unserem Versuch bei der Betrachtung der Verteilung der Blattfläche und der Biomasse auf die funktionellen Gruppen deutlich. So machten die Gräser in den –Mon Grasnarben nur zwei Drittel der Biomasse aus, steuerten aber etwa drei Viertel der Blattfläche bei.

4. Schlussfolgerungen

Die Ertragsbildung und Lichtabsorption wurden verglichen mit den Faktoren Schnittregime und Düngung nur zu einem geringen Teil von der Grasnarbenkomposition bestimmt. Die Unterschiede in der Wuchsform zwischen graminoiden und dikotylen Arten wirkten sich erst bei deutlichen Kompositionsunterschieden signifikant auf die Struktur der Grasnarbe aus. Letztendlich führten diese verschiedenen vertikalen Strukturen jedoch nicht zu signifikanten Ertragsunterschieden.

Literatur

- HAUTIER, Y., NIKLAUS, P.A. und HECTOR, A. (2009): Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science* 324, 636-638.
- HECTOR, A., SCHMID, B., BEIERKUHNLEIN, C., CALDEIRA, M. C., DIEMER, M. *et al.* (1999): Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286, 1123-1127.
- KIRWAN, L., LÜSCHER, A., SEBASTIÁ, M. T., FINN, J. A., COLLINS, R. P. *et al.* (2007): Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites. *Journal of Ecology* 95, 530–539.
- KÖRNER, C. (1994): Scaling from species to vegetation: the usefulness of functional groups. In: E.D. Schulze, & H.A. Mooney (Eds.), *Biodiversity and ecosystem function* (pp. 117-140). Heidelberg: Springer.
- MONSI, M. und SAEKI, T. (1953): Ueber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*, 14, 22-52.
- PETERSEN, U., ISSELSTEIN, J., WRAGE, N. (2010): The effect of manipulated plant species diversity of semi-natural permanent grassland on forage production and quality. *Grassland Science in Europe* 15, 824-826.
- SCHWANK, F. (1984): Einfluss von Strahlung und Temperatur auf das Wachstum von Weißklee (*Trifolium repens* L.) in verschiedenen bewirtschafteten Naturwiesen. *Dissertation*. ETH Zürich.
- THOMPSON, K., ASKEW, A. P., GRIME, J. P. DUNNETT, N. P. und WILLIS, A. J. (2005): Biodiversity, ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities. *Functional Ecology* 19, 355–358.

Mehrjähriger Anbau von *Triarrhena* in Lysimetern und Ergebnisse zu Wasser- und Stoffbilanzen

Gisbert Schalitz und Axel Behrendt

LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG MÜNCHENBERG E.V. (ZALF),
FORSCHUNGSSTATION LANDWIRTSCHAFT,
Gutshof z, 14641 Paulinenaue
e-Mail: abehrendt @zalf.de

1. Einleitung und Problemstellung

Im Jahre 1935 führte der dänische Botaniker Aksel Olsen einen *Miscanthus*klon als Zierpflanze in Europa ein. Die üppige Ausbildung reich beblätterter, schilffartig hoher Halme mit hohem Ertrag haben zu einem Anbau der Pflanze als Energieträger und Industrierohstoff geführt. Dabei handelt es sich hauptsächlich um einen Hybrid von *Miscanthus sinensis* und *Miscanthus sacchariflorus* (*Miscanthus x giganteus*).

Die große genetische Vielfalt der ostasiatischen Großgräser wurde zunächst außer acht gelassen, bis sich zeigte, dass auf frostgefährdeten Standorten wie Moor und Anmoor aber auch bei zeitweisem Überstau nicht der gewünschte Anbauerfolg eintrat (SCHALITZ et al., 1996).

In der Firma TINPLANT erkannte man sehr früh, dass es notwendig ist, neue Herkünfte von Originalstandorten zu beschaffen und weiter züchterisch zu bearbeiten. Dem diente auch das Thema 011 der bilateralen Zusammenarbeit BRD – China in der Agrarforschung von 2001-2007.

Es galt für Grünland- bzw. Grünlandgrenzstandorte in Nordostdeutschland anspruchslosere und ausdauernde Formen zu finden und einzuführen. Nach Xi (Zit. Chinese Science Press 1997) kommen dafür vorzugsweise Formen des Genus (Gattung) *Triarrhena* in Betracht. *Triarrhena* findet man verbreitet von Nordchina bis in die überflutungsgeprägten Auenbereiche des Gelben Flusses. Es gibt die folgende botanische Untergliederung:

Gramineae (Poaceae)

Subfamilie Panicoideae

Subtribus Saccharinae

Genus *Miscanthus* Anderson 1855

Genus *Triarrhena* (Maxim) Nakai 1950

1. *T. lutarioriparia* L. Lion 1989

2. *T. sacchariflora* (Maxim) Nakai 1950

Eine Untergliederung von *Miscanthus sacchariflorus* und *Triarrhena* nach Sortengruppen liegt von DEUTER (2006) vor.

Im Unterschied zu den *Miscanthus*-Formen bildet *Triarrhena* keine Horste, sondern einen dichten Ausläuferbestand, der ein besseres Überleben unter widrigen Bedingungen gewährleistet.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden in der Paulinenauer Grundwasserlysimeteranlage statt, die die Feuchtigkeitsbedingungen des Grünlandes abbildet. Der Standort war ein Sand-Humusgley, der als Acker-Grünland-Grenzstandort gelten kann. Die Anpflanzung der Stecklinge erfolgte im März 2005, zu je 5 Pflanzen pro Lysimeter mit 1 m² Oberfläche. Die Pflanzen wurden bei der TINPLANT GmbH Kleinwanzleben im Gewächshaus vorgezogen, selektiert und geklont. Das Ausgangsmaterial ist in China von DEUTER und Xi gesammelt worden.

Die Behandlung in den Lysimetern geschah wie folgt:

Düngung: N 150 kg/ha in 2 Gaben
(alle Varianten) (1. Gabe Frühjahr, 2. Gabe Hochsommer)
P 60 kg/ha
K 250 kg/ha

Prüfglieder: 30 cm Grundwasserstand
50 cm Grundwasserstand
70 cm Grundwasserstand
90 cm Grundwasserstand

Die Ernte erfolgte jeweils zu Jahresende (Dezember) in einem Schnitt wenn die Biomasse (Blätter und Stängel) abgestorben und nahezu lufttrocken waren. Im folgenden sollen schwerpunktmäßig die Jahre 2005 bis 2009 betrachtet werden, wobei der Bestand bis zum Jahre 2011 noch voll leistungsfähig geblieben ist.

Abfluss ins Grundwasser und ausgetragene Stofffrachten

Die Abflüsse variieren von Jahr zu Jahr beträchtlich je nach Niederschlagsangebot. So ist erkennbar, dass im Feuchtjahr 2007 bei allen Grundwasserständen der höchste Durchfluss eingetreten ist. Entsprechend dem Grundwasserstand handelt es sich um die jeweilige Grundwasserneubildung. Bei den hohen Grundwasserständen fällt die Grundwasserneubildung höher aus, da die Pflanzen das gesamte Wasser in der Regel nicht verbrauchen können und in der Bodensäule weniger Wasser „hängen bleibt“ (s. Tab. 1).

Beim N-Austrag überwiegt das Ammonium gegenüber dem Nitrat deutlich. Mit abgleitendem Grundwasserstand ist eine Zunahme des Austrages an NH₄ festzustellen, während es sich beim Nitrat umgekehrt verhält. Insgesamt ist aber der N-Austrag als unbedeutend anzusehen angesichts der relativ hohen Düngermenge. Wir erkennen also eine recht gute N-Verwertung durch Triarrhena.

Tab. 1: Abfluss ins Grundwasser und Stofffrachten 2005 – 2009

Jahr	Abfluss	NH ₄ -N	NO ₃ -N	g/ha Fracht		
	(mm)			P	K	Ca
Lysimeter 30 cm Grundwasserstand						
2005	180	173,9	19,4	0,0	8.174,9	109.327,7
2005/06	284	396,8	252,8	3,2	13.775,6	181.297,4
2007	683	3.326,7	579,8	34,0	36.414,0	502.569,5
2007/08	502	1.377,1	308,3	0,0	23.156,5	403.196,9
2008/09	400	1.462,0	214,6	11,0	17.030,7	383.145,6
Σ	2.049	6.736,5	1.374,9	48,2	98.551,7	1.579.537,1
Lysimeter 50 cm Grundwasserstand						
2005	114	72,3	32,1	4,2	12.562,2	86.611,2
2005/06	321	1.139,4	272,1	19,0	33.262,2	272.272,5
2007	857	4.783,5	335,1	176,8	87.164,1	855.890,3
2007/08	442	1.717,9	140,7	0,0	27.872,0	399.921,6
2008/09	387	2.391,4	181,7	4,9	25.099,6	492.141,6
Σ	2.121	10.104,5	961,7	204,9	185.960,1	2.106.837,2
Lysimeter 70 cm Grundwasserstand						
2005	199	1.238,1	33,9	5,8	3.143,9	239.977,7
2005/06	245	4.227,1	181,4	17,3	13.411,8	268.751,2
2007	684	15.412,8	239,6	30,2	38.441,0	615.047,2
2007/08	383	5.564,5	274,2	0,0	17.544,8	346.595,6
2008/09	333	4.409,8	115,6	31,4	15.945,0	455.560,1
Σ	1.844	30.852,3	844,7	84,7	88.486,5	1.925.931,8
Lysimeter 90 cm Grundwasserstand						
2005	166	1.102,1	23,5	9,5	3.763,8	176.161,2
2005/06	307	2.973,9	190,6	16,9	23.556,4	269.714,0
2007	615	5.706,5	377,8	34,3	49.769,6	569.239,3
2007/08	326	2.074,7	162,7	0,0	22.823,4	302.665,7
2008/09	216	2.038,6	193,1	3,1	15.275,8	252.237,2
Σ	1.630	13.895,8	947,7	63,8	115.189,0	1.570.017,4

Die hohe Ca-Auswaschung ist typisch für die hydromorphen Böden Nordostdeutschlands. Dies geschieht hauptsächlich in der Winterperiode und ist dadurch von den Pflanzenwurzeln kaum zu stoppen.

Die Menge des Abflusses bestimmt wesentlich den Stoffaustrag. Das ist bei Ca und K besonders ausgeprägt, während die Beziehung beim Stickstoff weniger klar ausfällt (Tab. 2).

Tab. 2: Korrelationskoeffizient (r), Abflussmenge zu Nährstofffrachten 2005-2009

Grundwasserstand (cm)	Abfluss-NH ₄ -Fracht	Abfluss-NO ₃ -Fracht	Abfluss-P-Fracht	Abfluss-K-Fracht	Abfluss-Ca-Fracht
30	0,49	0,19	-0,04	0,87	0,85
50	0,69	0,23	0,52	0,63	0,71
70	0,64	0,11	-0,02	0,88	0,68
90	0,68	0,38	0,05	0,92	0,89

Erträge

Die Erträge sind in g TM pro m² angegeben, weil eine Übertragung pro ha vom 1 m²-Lysimeter doch problematisch erscheint. Es treten Oaseneffekte auf und Teile der Pflanzen hängen über den Rand hinaus. Sie können dadurch zusätzliche Assimilationsvorteile realisieren. Durch bestandesumfassende Rundgestelle ist das eingeschränkt aber nicht vollständig verhindert worden.

Die Erträge sind mit Ausnahme des Jahres 2006 respektabel hoch. Bemerkenswert ist die nahezu vollständige Regeneration der Bestände im Jahre 2007, die von da an beständige Höchstleistungen erbrachten (Tab. 3). Am besten schnitt der hohe Grundwasserstand von 30 cm ab, was eine Eignung für feuchtes Grünland unterstreicht. Im parallel geführten Anbauversuch im Havelländischen Luch (Versuchsfeld der Forschungsstation Paulinenaue) blieb Triarrhena sogar trotz winterlicher als auch sommerlicher Überstauungen leistungsfähig.

Andere Futterpflanzen erreichen dieses Ertragsniveau im Lysimeter kaum. In den Jahren 2010 und 2011 blieb das hohe Ertragsniveau der Triarrhenabestände unverändert.

Tab. 3: Ertrag g TM/m²

Jahr	Grundwasserstand			
	30 cm	50 cm	70 cm	90 cm
2005	1924,0	1682,7	2158,4	1779,0
2006	395,7	726,6	843,4	759,6
2007	4467,6	1593,8	6110,4	3715,8
2008	7541,1	7090,3	6208,5	4482,7
2009	6679,9	5084,5	4944,4	4608,0
0 2005- 2009	4201,7	3235,6	4053,0	3069,0

Gesamtwasserverbrauch und spezifischer Wasserverbrauch

Einer der großen Vorteile der zum Subtribus Saccharinae gehörenden Arten ist ihr geringer Wasserverbrauch. Das hatten bereits Untersuchungen von SCHALITZ et al., (1996) bei *Miscanthus* gezeigt. Zum Teil noch günstiger liegen die Werte bei Triarrhena, wie Tab. 4 verdeutlicht. Auf Alternativen zum *Miscanthus*-Anbau verwiesen auch RAMPEREZ et al. (2010). Sichtbar ist, dass bei hohem Wasserangebot (höchster Grundwasserstand) auch am meisten Wasser verbraucht wird. Der spezifische Wasserverbrauch ist dann am höchsten, wenn die Pflanzen mit Wasser nicht sparsam umgehen müssen. Bei tiefem Grundwasserstand sinkt der Gesamtwasserverbrauch und die Pflanzen verwerten das Wasser sehr effektiv. Mit einheimischen nachwachsenden Rohstoffen werden Werte von 300 – 350 l Wasser pro kg TM nicht erreicht. Das unterstreicht die Anbauberechtigung solcher Formen wie Triarrhena für niederschlagsarme Gebiete im Nordosten Deutschlands.

Die hohen spezifischen Wasserverbräuche im Jahre 2006 sind nicht auf die Triarrhena-Pflanzen sondern auf raumfüllende Unkräuter und Vegetationslücken zurückzuführen, die infolge der partiellen Auswinterung entstanden waren.

Tab. 4: (a) Gesamtwasserverbrauch (mm) und (b) spezifischer Wasserverbrauch (l/kg TM)

Jahr	Grundwasserstand							
	30 cm		50 cm		70 cm		90 cm	
	a	b	a	b	a	b	a	b
2005	823,0	427,7	717,0	426,1	642,0	297,4	565,0	317,6
2006	600,5	1517,7	612,5	843,0	525,5	623,1	589,5	776,1
2007	1151,1	257,7	1071,1	672,0	1170,1	191,5	929,1	250,0
2008	1472,4	195,3	1365,4	192,6	1320,4	212,7	1045,4	233,2
2009	1527,8	228,7	1073,8	211,2	982,8	198,8	883,8	191,8
0 2005-2009	1115,0	525,4	968,0	469,0	928,2	304,7	802,6	353,7

In den Jahren 2010 und 2011 setzten sich die günstigen Tendenzen im Gesamtwasserverbrauch und im spezifischen Wasserverbrauch unvermindert fort.

3. Schlussfolgerungen

- Anstelle von *Miscanthus x giganteus* ist *Triarrhena* aufgrund von Winterhärte und Ausdauer unter den Bedingungen von Nordostdeutschland sicherer im Anbau.
- *Triarrhena* besitzt auf Acker-Grünland-Grenzstandorten sowie Grünland mit einer großen Schwankungsbreite der Grundwasserstände langjährig ein sehr hohes Ertragspotential.
- Der Gesamtwasserverbrauch als auch der spezifische Wasserverbrauch sind eindeutig günstiger als bei einheimischen Futterpflanzen bzw. Großgräsern.
- Die moderaten Nährstoffansprüche von *Triarrhena* tragen dazu bei, dass die Auswaschungsrate erträglich bleibt. Dabei sollten die Düngermengen das Pflanzenwachstum nicht vordergründig begrenzen und zugleich den anders gelagerten Qualitätsansprüchen an nachwachsende Rohstoffpflanzen genüge tun.
- Weitere Züchtungsarbeiten sind erforderlich, um eine größere Bandbreite von Genotypen für die Praxis bereitzustellen.

Literatur

- CHINESE SCIENCE PRESS (1997): Classification system for flora in China. Flora peubicae popularis sinicae, Tomus 10(2)
- DEUTER, M. (2005): Arbeit im Rahmen des gemeinsamen Projektes der Landwirtschaftsministerien Deutschlands und Chinas „Grasses for riverbanks and soil protection, wetland conservation and their use for industrial and energetic purposes“. Thema 011
- RAMPEREZ, M., C. FUHS, M. MÜLLER UND R. PUDE (2010): Designerbrennstoffe auf Basis von halmgut- und holzartiger Biomasse. Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften 22, S.113-114
- SCHALITZ, G., M. FECHNER, D. HÖLZEL UND K. ROBOWSKI (1996): Wasserverbrauch, Stoffaustrag, Ertrag und Qualitätsparameter nachwachsender Rohstoffpflanzen. ZALF-Bericht Nr. 26, S. 35-66
- XI, QINGGUO (2000): Investigation on the Distribution and Potential of Giant Grasses in China. Diss. FAL Braunschweig-Völkenrode, 143 S.