



ET1

ATB
Agrartechnik Bornim



Energiepflanzen im Aufwind

Wissenschaftliche Ergebnisse und
praktische Erfahrungen zur
Produktion von Biogaspflanzen
und Feldholz

Fachtagung
12. – 13. Juni 2007
Potsdam

unterstützt durch:



Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 61

Potsdam-Bornim 2007

Energiepflanzen im Aufwind

Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz

**Fachtagung
12. – 13. Juni 2007
Potsdam**

unterstützt durch:



**Bornimer Agrartechnische Berichte
Heft 61**

Potsdam-Bornim 2007

Herausgeber:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam-Bornim
☎ (0331) 5699-0
Fax.: (0331) 5699-849
E-mail: atb@atb-potsdam.de
Internet: <http://www.atb-potsdam.de>

Mai 2007

Redaktion:

Dr. rer. hort. Monika Heiermann
Dr.-Ing. Volkhard Scholz
Dipl.-Ing. Helene Foltan

Typografische Gestaltung:

Andrea Gabbert

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg.

Die Veranstaltung wurde durchgeführt vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) und der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative ETI und gefördert durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Baltic Sea Region (BSR) INTERREG III B Programms.

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist unter Quellenangabe und mit Zustimmung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. möglich.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam-Bornim 2007

Inhaltsverzeichnis	Seite
<i>Table of contents</i>	<i>page</i>
Vorwort <i>Preface</i>	5
Programm <i>Program</i>	14
Energiepflanzenproduktion in Deutschland – Entwicklungen und Forschungsaktivitäten <i>Production of energy plants in Germany – developments and R&D-activities</i> HENRYK STOLTE	19
Möglichkeiten und Grenzen des Energiepflanzenanbaus <i>Potentials and constraints of cultivating energy crops</i> ARMIN VETTER	28
Umweltaspekte der Produktion und Nutzung von Energiepflanzen <i>Environmental aspects of the production and utilisation of energy plants</i> GUIDO A. REINHARDT, JULIA MÜNCH	42
Kosten der Energiepflanzenbereitstellung <i>Costs of energy crops supply</i> HELMUT DÖHLER, STEFAN HARTMANN, HENNING ECKEL	54
Aktuelle und potenzielle Pflanzen für die Biogaserzeugung im Land Brandenburg <i>Crops for biogas production in the territory of Brandenburg</i> GUNTER EBEL, LOTHAR ADAM	61
Mischfruchtanbau auf sandigen Böden – Alternative Anbaustrategien <i>Mixed cropping systems on sandy soils – alternative cropping strategies</i> MATTHIAS DIETZE	75
Einfluss der Silierung auf die Biogasbildung - Aktuelle Forschungsergebnisse <i>Impact of ensiling process on biogas production – recent research results</i> CHRISTIANE HERRMANN, MONIKA HEIERMANN, CHRISTINE IDLER, VOLKHARD SCHOLZ	86
Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe - Stand der Forschung und Entwicklung <i>Solid state anaerobic digestion of renewable biomass sources – state of research and development</i> JAN MUMME, BERND LINKE, MONIKA HEIERMANN	100
Energiepflanzen in der Biogasanlage – Erfahrungsbericht <i>Energy crops as feedstock in a biogas plant – an experience report</i> JENS WINTER	107
Angebot und Bedarf an Energieholz in Brandenburg <i>Proffer and demand of wood fuel in the State of Brandenburg</i> GERNOD BILKE, ALEXANDER MUCHIN	116
Rechtliche Rahmenbedingungen für den Anbau schnell wachsender Baumarten <i>Regulatory framework for growing short rotation coppice</i> CHRISTIAN HOHM	123

Mechanisierung der Feldholzproduktion	130
<i>Mechanization of SRC production</i>	
VOLKHARD SCHOLZ	
20 Jahre Kurzumtriebsplantagen – Ein Erfahrungsbericht aus Hessen	144
<i>20 Years of short rotation coppice – an experience report from Hesse</i>	
KARL DÖHRER	
Willow production and marketing in Denmark	152
<i>Produktion und Vertrieb von Weide in Dänemark</i>	
HENRIK BACH	
Short Rotation Coppice SRC Production in Italy	158
<i>Produktion schnellwachsender Baumarten in Italien</i>	
RAFFAELE SPINELLI	

Grußwort von Dr. Dietmar Woidke

Minister für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg

Es gilt das gesprochene Wort!

Energiepflanzen sind seit Menschengedenken unsere Begleiter.

Der Sage nach soll **Prometheus** den trockenen Stängel eines Riesenfenchels verwendet haben, um aus **Hephaistos** Schmiede das Feuer zu stehlen, das er den Menschen als göttliche Gabe brachte. Der leicht entzündliche Mark des Stängels schwelt langsam und verbrennt, ohne die **Rinde** des Stängels völlig zu zerstören. Das Mark kam bereits in der Antike als **Zunder** zum Einsatz und erlaubte wie in der **mythologischen** Vorlage den Transport von Feuer über relativ weite Strecken.

Dass dann über Jahrtausende Wärme und Energie vom Acker kamen, wäre nicht der Erwähnung wert, wenn nicht Rohstoffverknappung und Klimawandel zu einer Renaissance der Energiepflanzen und damit zu einer neuen Wertschätzung der Landwirtschaft geführt hätten.

In diesen Zusammenhang gehören auch die technischen Pionierleistungen der jüngsten Zeit, als noch vor der Einspeisevergütung über das EEG und vor der Steuerbegünstigung für Biokraftstoffe mit erheblichen Risiken Biodiesel- und Biogasanlagen errichtet wurden.

Die zarten Pflänzchen, die oftmals die Namen Modellprojekte oder Machbarkeitsstudien trugen, haben überlebt. Nachahmer fanden sich überall, und heute gehört die Bioenergiebranche zu den Zukunftszweigen in der und um die Landwirtschaft, auf die wir stolz sein können - auch in Brandenburg.

Die Landesregierung hat bei der Bildung der Koalition mit der Agrarwirtschaftsinitiative eine Idee des Landesbauernverbands aufgegriffen, die sich direkt dem Thema Bioenergie verschrieben hat.

Vielen Dank an dieser Stelle bereits den vielen Aktiven, die dazu beigetragen haben, dass Brandenburg zweifelsfrei in die Spitzengruppe der Bundesländer gehört und wir bei der Bioenergieerzeugung und Bioenergienutzung in Deutschland den Ton mit angeben.

Hierzu einige Zahlen:

Wir sind bei Biodiesel mit einer Erzeugerkapazität von 632.000 t/a absoluter Spitzenreiter.

In unserem Land verfügen wir mit der Anlage in Schwedt über die zweitgrößte Bioethanolkapazität und sind bezüglich der Leistung von Bioheizkraftwerken mit 158 MW_{elektr.} und 694 MW_{therm.} Spitze in Deutschland.

Mit 56 Biogasanlagen sind wir zwar nur im Mittelfeld, aber immerhin sind 64 weitere Anlagen bereits genehmigt und für weitere 100 Anlagen gibt es Anfragen bei den Behörden. Das lässt erwarten, dass der Ausbau mit Biogasanlagen rasant fortschreitet.

In Brandenburg waren in 2006 auf insgesamt 77.809 ha Ackerland Energiepflanzen angebaut. Das sind 7,5% der gesamten Ackerflächen. In Deutschland waren es immerhin 13%.

Es erfüllt uns zwar mit Stolz im Ländervergleich gut auszusehen, aber das ist natürlich nicht die Hauptsache.

Die Umweltpolitik steht heute vor der gesamtgesellschaftlichen Herausforderung, Energiesicherheit und Klimaschutz in Einklang zu bringen. Die Nutzung der erneuerbaren Energien ist mit der enormen Steigerung der Energieeffizienz der Weg. Zudem sichert er auch Arbeit und Einkommen.

Brandenburg hat gute Chancen, sich als Laboratorium der „Erneuerbaren“ zu profilieren. So sind noch etliche technische Fragen zu lösen.

Es wächst gerade ein neuer Zweig des Anlagenbaus. Neue Arbeitsplätze entstehen und die Landwirtschaft profitiert von der Rohstoffbereitstellung. Das sind Synergieeffekte, wie sie selten bei volkswirtschaftlichen Entwicklungen auftreten.

Bei den Bioenergien sind wir den Kinderschuhen und den Kinderkrankheiten entwachsen. Nun kommt es mehr und mehr darauf an, die Effizienz des Biomasseanbaus und der Biomassenutzung zu verbessern und die Verfahren der nächsten Generation einzuführen.

Als Kraftstoff der Zukunft war von der deutschen Autoindustrie die Entwicklung von biomass to liquid (BtL) als der Königsweg für die Biokraftstoffe vorgesehen. Die Entwicklung von BtL vollzieht sich leider etwas langsamer als noch vor vier Jahren erhofft. Die erste Produktionsanlage in Freiberg wird Anfang kommenden Jahres ersten Designerkraftstoff liefern. Von der Firma Choren und mithilfe einiger Studien erfolgt gegenwärtig die Standortsuche für großtechnische Produktionsanlagen zur Herstellung von BtL.

Wir können uns sehr gut vorstellen, dass eine der ersten Anlagen, die dann auch mit Hackschnitzel aus Schnellumtriebsplantagen betrieben werden sollte, im Land Brandenburg errichtet wird.

Biomass to liquid ist und bleibt eine der wichtigsten Optionen auf dem Kraftstoffmarkt in Deutschland, wobei der BtL-Kraftstoff erst ab 2015 einen bedeutenden Platz auf dem Kraftstoffmarkt einnehmen wird.

Weiterhin sind wir an einem Dreiländerprojekt mit der Volkswagen-Forschungsabteilung zu Fragen der Biomassebereitstellung für BtL beteiligt. Der Part, den wir Brandenburger dabei übernommen haben, betrifft die Biomasse aus dem Kurzumtrieb von Waldgehölzen auf landwirtschaftlichen Flächen.

Eine weitere wichtige Option für die Zukunft ist die Netzeinspeisung von Biogas. Dies wird einerseits angestrebt, um unnötige Wärmeverluste an der Biogasanlage zu vermeiden, aber andererseits auch, um Biogas als Erdgas für den Kraftstoffmarkt zu nutzen.

In Deutschland gibt es, soweit ich weiß, zwei Biogasanlagen mit Netzeinspeisungen: In Brandenburg wird bei der GreenGas Produktionsanlage Rathenow GmbH & Co. KG und bei der EWE in Beeskow dieses Konzept verfolgt.

Auch die Forschung auf dem Gebiet des Energiepflanzenanbaus und die Biomasseverwertung ist in Brandenburg gut aufgestellt. Zu nennen sind die Brandenburgische Technische Universität Cottbus, das ZALF Müncheberg, die Fachhochschule Eberswalde oder das Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim.

Wenn Brandenburg bei diesem Thema an der einen oder anderen Stelle Pluspunkte sammeln kann, dann freut mich das als Landesminister.

Aber wir brauchen bundesweit ein Bioenergiegesamtkonzept, das für uns mittelfristig, also bis 2020, Ziele festschreibt und das nicht nur eine Wunschliste ist, sondern möglichst mit der Autoindustrie und der Mineralölwirtschaft abgestimmt wird.

Diese Forderung ist allein deshalb sehr wichtig, da nach wie vor viel Geld in der Bioenergiebranche in die Hand genommen werden muss und auch der Energiepflanzenanbau Verlässlichkeit braucht.

Ich habe mich auch deshalb darüber geärgert, dass aus rein bundeshaushalterischen Erwägungen heute eine Steuer eingeführt wird, die kleinere Biodieselhersteller in die Insolvenz gehen lässt. Gleichzeitig werden offensichtlich die festgesetzten Bio-Quoten von den Kraftstoffhändlern durch billige Importe realisiert.

Der rasant zunehmende Energiepflanzenanbau stellt auch ganz neue Fragen und neue Herausforderungen an die Praxis, an die Forschung und an die Politik, um die zweifellos immer noch schlummernden Potenziale zu erschließen.

Lassen Sie mich einige wichtige Potenziale anführen:

1. Die Minderung des Kraftstoffverbrauchs selbst ist eine der wichtigsten Maßnahmen, um 2020 einen Anteil von 10 % Biokraftstoff am Kraftstoffmarkt zu erreichen.
2. Bioabfälle, - sei es aus der Biotonne, Abfälle aus der Nahrungsmittelindustrie, auch Gülle - sind ein riesengroßes Potenzial für die Bioenergieerzeugung der Zukunft.
3. Die noch bestehende Überproduktion, insbesondere bei Getreide, die mit hohen Interventionskosten und zum Teil mit Exporterstattungen verbunden sind, stellt zumindest für Deutschland und Europa ein bedeutendes Potenzial dar.
4. Pflanzenbaulich ist eine statistische Ertragssteigerung von 1 % als durchaus gesichert anzusehen. Mit der Verwendung von speziellen Energiepflanzen, neuen Sorten und mit der Züchtung lassen sich sicherlich weitere Potenziale erschließen und Flächenproduktivität erhöhen.

Für Brandenburg werden diese Potenziale derzeit gerade aktualisiert. Erste Aufträge dazu haben wir inzwischen ausgelöst. Wir wollen als unseren Beitrag für das neue Energiekonzept des Landes noch in diesem Jahr eine Konzeption für die weitere Entwicklung der erneuerbaren Energien vorlegen.

Eine wichtige Herausforderung, die sich aus dem Bioenergieboom ergibt, ist die Wahrung von ökologischen Mindestanforderungen bei der Biomassebereitstellung. Mit diesem Thema befassen sich zurzeit viele Veranstaltungen, Umweltverbände und Arbeitsgruppen. Von einigen Naturschützern werden negative Auswirkungen auf die Biodiversität nicht ausgeschlossen, sofern eine Fruchtfolgenverengung oder eine Intensivierung von Grünland in bedeutendem Umfang eintreten sollten.

Es ist klar, dass die Biomassebereitstellung zu keiner signifikanten Verschlechterung der Umwelt führen darf. Die gute landwirtschaftliche Praxis ist beim Energiepflanzenanbau zugrunde zu legen und deren Einhaltung über cross compliance festzustellen.

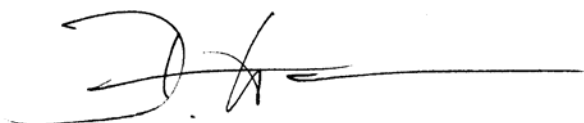
Wie viele hier im Raum wissen, sind durch die EU Regelungen zum Erhalt von landwirtschaftlichen Flächen im guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand sowie zum Erhalt von Dauergrünland erlassen worden, die auch Vorschriften zur Fruchtfolge beinhalten. Diese Vorschriften bestehen seit zwei Jahren. Sie sind nach meiner Auffassung ausreichend.

Insbesondere im Projekt DENDROM werden auch Fragen der Auswirkungen auf die Biodiversität untersucht.

Wir brauchen eine solide und wissenschaftlich begründete Begleitung bei der weiteren Nutzung von Biomasse. Wir brauchen die Forschung für die zukünftige Entwicklung und wir brauchen den Erfahrungsaustausch.

Prometheus gehört ja zu den Rebellen der Menschheitsgeschichte. Aus der Kunst- und Literaturgeschichte wissen wir, dass vor allem dann, wenn Umbruchzeiten anstehen, an ihn erinnert wird. Gemälde, Holzschnitte, Gedichte über ihn gibt es aus solchen Epochen zuhauf.

Auch jetzt brauchen wir wieder ein wenig prometheisches Feuer, um den Herausforderungen der dritten industriellen Revolution, von denen der Potsdamer Klimaforscher Prof. Schellnhuber im Zusammenhang mit der Energiewende immer spricht, zu meistern.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'D' followed by a horizontal line and a small flourish.

Grußwort von Prof. Dr. Reiner Brunsch
Wissenschaftlicher Direktor (komm.)
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Das öffentliche Interesse an Biogas oder Biofestbrennstoffen ist größer denn je. Biogasanlagen und Biomasseheizkraftwerke verzeichnen derzeit einen regelrechten Boom. Nicht nur steigende Erdölpreise, auch effizientere Techniken machen Biomasse zu einem der interessantesten regenerativen Energieträger. Welches Potenzial bietet der Anbau von Energiepflanzen? Mit welchen Verfahren kann deren Potenzial optimal ausgeschöpft werden, wie sehen die zu erwartenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aus? Und welche Möglichkeiten bieten sich für den Landwirt, von dieser Entwicklung zu profitieren?

Diesen Fragen stellen sich seit Jahren auch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim. Die Erzeugung und die Nutzung von Biomasse - nicht nur für die CO₂-neutrale Energiegewinnung sondern auch zur stofflichen Verwertung – einschließlich der ökonomischen und ökologischen Bewertungen sind Schwerpunkte der Forschungsarbeiten am ATB. Dabei geht es stets um die Betrachtung vollständiger Wertschöpfungsketten: vom Rohstoff bis zum Produkt bzw. vom Feld bis zum Tank. Im Arbeitsgebiet Biogas umfasst die Forschung beispielsweise Fragen der Rohstoffbereitstellung, u.a. Anbau geeigneter Energiepflanzen einschließlich Fruchtfolgeproblematik, Logistik und Umweltwirkungen, die Entwicklung optimierter Verfahren der Biogaserzeugung, die Analyse der methanogenen Mikroflora im Fermenter, die Anwendung neuer Sensortechnik zur Prozesskontrolle, sowie im Bereich der Nutzung von Bioenergieträgern Untersuchungen zum Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen für eine dezentrale Energieerzeugung im ländlichen Raum.

Zu den strukturellen Stärken des Instituts im Bereich Biomasseforschung zählen neben eigenen Versuchsflächen, Labors und Technika insbesondere zwei kürzlich in Betrieb genommene Pilotanlagen: für die Herstellung hochreiner Milchsäure aus pflanzlicher Biomasse und für die Verarbeitung von feuchtkonservierten Naturfaserpflanzen zu Bau- und Dämmstoffen. Die beiden Anlagen, die mit Mitteln der EU, des Bundes und des Landes finanziert wurden, ermöglichen die notwendige Maßstabsübertragung aus dem Technikum zur wirtschaftlich arbeitenden Anlage und tragen dazu bei, die neuen innovativen Technologien erfolgreich in die Praxis zu überführen.

Dass wir im Hinblick auf knapper werdende fossile Rohstoffe umdenken müssen, ist nicht neu. Die Forschung kann in enger Kooperation mit Landwirtschaft und Industrie Antworten geben, in welcher Weise wir, die Gesellschaft, die neuen Aufgaben meistern können.

In diesem Sinne ist diese Fachtagung ein weiterer Schritt auf dem Weg, mit wissenschaftlich-technischem Knowhow die Umstellung der Stoff- und Energiewirtschaft auf nachwachsende Rohstoffe voranzubringen.

Ich wünsche Ihnen nun eine interessante und informative Tagung mit angeregten Diskussionen.



Grußwort von Frau Tanja Kenkmann

Brandenburgischen Energie Technologie Initiative

Eine wichtige Rolle bei der Erhöhung des Anteils von Erneuerbaren Energien an der Energieerzeugung in Deutschland nimmt die Bioenergie ein. So wird der Biogasnutzung auch in der Brandenburgischen „Energiestrategie 2010“, die die energiepolitische Zielstellung der Landesregierung vorgibt, ein hoher Stellenwert beigemessen.

Die Energie Technologie Initiative (ETI) hat den starken **Ausbau der Bioenergie** im Land Brandenburg seit 2002 maßgeblich unterstützt und mitgestaltet und befördert auch in der Gegenwart die Verbreitung neuer Technologien bei der Erzeugung und Nutzung „Grüner Energien“. Als Beispiel sei die Erprobung des Verfahrens der Trocken-Nass-Simultanvergärung bei der Biogaserzeugung gemeinsam mit dem ATB an der Biogasanlage in Pirow genannt, die im Rahmen eines ETI-Leitprojektes durchgeführt wurde.

Um den erfolgreichen Ausbau der Bioenergie fortzusetzen und deren wirtschaftliches und energiepolitisches Potential zu nutzen, ist die Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit essentiell. Gemeinsam mit der Fachhochschule Eberswalde bearbeiteten wir dieses Thema im Rahmen des EU-Projektes Baltic Biomass Network.

Bereits heute gibt es auf dem Markt zeitweise, bedingt durch die hohe Nachfrage und Ernteeinbußen infolge von Witterungseinflüssen eine Rohstoffverknappung, die zu Preissteigerungen führt.

Ein hohes Potential liegt in der Optimierung des Anbaus und der Verarbeitung der Energiepflanzen und in der Wahl und Züchtung der Energiepflanzenarten und -sorten. Auch durch den Anbau von Agrarholz auf Schnellwuchsplantagen, der bisher in Deutschland noch nicht großflächig praktiziert wird, kann zusätzliche Biomasse bereitgestellt werden.

Diese Potenziale gilt es in der Zukunft auszubauen und zu nutzen, damit der Siegeszug der Bioenergie fortgeführt werden kann. Dazu soll die Tagung „Energiepflanzen im Aufwind“ einen Beitrag leisten.

Diese Tagung ist nicht die einzige Veranstaltung der ETI. Im Rahmen unserer Arbeitsgruppe Biogas führen wir regelmäßig Treffen durch, auf denen aktuelle technische und pflanzenbauliche Entwicklungen im Biogasbereich vorgestellt werden. Unter der Federführung des ATB wurde durch die ETI außerdem das „Standardwerk“ der Biogasbranche in Brandenburg erstellt: Der Leitfaden „Biogas in der Landwirtschaft“, der Ende 2006 in der dritten überarbeiteten Auflage erschienen ist. Der Leitfaden kann über die Webseite der

ETI bezogen werden, hier erhalten Sie auch Informationen zur Biogas-Arbeitsgruppe:
www.eti-brandenburg.de, oder per Mail: eti@potsdam.ihk.de.

Wir wünschen nun allen Teilnehmern einen fruchtbaren Austausch und laden alle herzlich ein, an künftigen Aktivitäten der Biogasinitiative Brandenburg mitzuarbeiten.



Baltic Biomass Network

Die Fachtagung „Energiepflanzen im Aufwind“ wird mit finanzieller Unterstützung des Interreg IIIB-Projektes „Baltic Biomass Network (BBN)“ durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes sollen der Energiepflanzenanbau gefördert, die Kompetenzen bei der Planung einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcen gestärkt, die Bioenergieentwicklung unterstützt sowie weitere Investitionen im Bereich Bioenergie gefördert werden.

Das BBN-Netzwerk besteht aus 13 Facheinrichtungen aus Brandenburg, Finnland, den baltischen Staaten und Polen. Die in den einzelnen Partnerregionen etablierten BBN-Arbeitsgruppen erfassen das regionale Biomasse-Potential auf Basis von Kartierungen mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS). Diese Analysen ermöglichen die Identifizierung geeigneter Gebiete für die Produktion von Energiepflanzen, für die Gewinnung von Festbrennstoffen sowie optimaler Anlagenstandorte für geeignete Bioenergie-Produktionslinien. Die im Rahmen von BBN erstellten Untersuchungen sollen Land- und Forstwirte bei der Bewertung von Risiken und Chancen unterstützen. Gleichzeitig werden auf diese Weise den Behörden für regionale Entwicklung Instrumente zur Verfügung gestellt, um Flächen zu bestimmen, die für Anlagenstandorte, Projekte zur Umstellung auf Biobrennstoffe, Energiepflanzenanbau und bisher unterentwickelte Ressourcennutzung geeignet sind. Damit soll eine Minimierung der Nutzungskonflikte für Land und Ressourcen ermöglicht werden. Des Weiteren werden im Rahmen des Projektes Szenarien zu realen Investitionsvorhaben und zur zukünftigen Bioenergienutzung unter Berücksichtigung von politischen Rahmenbedingungen in der EU entwickelt.

In jeder Partnerregion wurden regionale Netzwerke initiiert, bestehend aus Planungsbehörden, Investoren, Betreibern von Bioenergieanlagen, Biomasseproduzenten und Behörden für wirtschaftliche Entwicklung, um die Nutzung von Ressourcen und Bioenergie gemeinsam zu erörtern.

Federführend zuständig für das Projekt ist die Industrie- und Handelskammer (IHK) Potsdam. BBN wurde im Rahmen der Brandenburgischen Energie Technologie Initiative (ETI) entwickelt.

Für weitere Informationen zum Projekt besuchen Sie bitte die folgende Internetadresse: www.balticbiomass.com



Programm

Dienstag, 12. Juni 2007

11:00 Uhr **Eröffnung**
 TANJA KENKMANN,
 Brandenburgische Energie Technologie Initiative (ETI)
 REINER BRUNSCH
 Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Grußwort
 MINISTER DIETMAR WOIDKE
 Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV)

Energiepflanzen

Moderation: VOLKHARD SCHOLZ, ATB Potsdam

11:30 Uhr HENRYK STOLTE
 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow
Energiepflanzenproduktion in Deutschland – Entwicklungen und Forschungsaktivitäten

12:00 Uhr ARMIN VETTER
 Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg
Möglichkeiten und Grenzen des Energiepflanzenanbaus

12:30 Uhr GUIDO A. REINHARDT, JULIA MÜNCH
 ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Umweltaspekte der Produktion und Nutzung von Energiepflanzen

13:00 Uhr **Mittagspause**

Biogaspflanzen I

Moderation: MONIKA HEIERMANN, ATB Potsdam

14:00 Uhr HELMUT DÖHLER, STEFAN HARTMANN, HENNING ECKEL
 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt
Kosten der Energiepflanzenbereitstellung

14:30 Uhr GUNTER EBEL, LOTHAR ADAM
 Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Güterfelde
Aktuelle und potenzielle Pflanzen für die Biogaserzeugung im Land Brandenburg

15:00 Uhr MATTHIAS DIETZE
 Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Mischfruchtanbau auf sandigen Böden – Alternative Anbaustrategien

15:00 Uhr **Pause**

Biogaspflanzen II

Moderation: BERND LINKE, ATB Potsdam

- 16:30 Uhr CHRISTIANE HERRMANN, MONIKA HEIERMANN, CHRISTINE IDLER
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Einfluss der Silierung auf die Biogasbildung - Aktuelle Forschungsergebnisse
- 17:00 Uhr JAN MUMME, BERND LINKE, MONIKA HEIERMANN
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe - Stand der Forschung und Entwicklung
- 17:30 Uhr JENS WINTER
Rhinmilch GmbH Agrargesellschaft, Fehrbellin
Energiepflanzen in der Biogasanlage – Erfahrungsbericht
- 18:00 Uhr **Ende 1. Tag**

Abendveranstaltung

- 19:00 Uhr **Gemeinsames Abendessen**
im „Alten Stadtwächter“
14467 Potsdam, Luisenplatz, Schopenhauerstr. 33

Mittwoch, 13. Juni 2007**Feldholz I**

Moderation: Albrecht Bemmann, Technische Universität Dresden

- 9:00 Uhr GERNOD BILKE, ALEXANDER MUCHIN
Landesforstanstalt Eberswalde
Angebot und Bedarf an Energieholz in Brandenburg
- 9:30 Uhr CHRISTIAN HOHM
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucher-
schutz Brandenburg
**Rechtliche Rahmenbedingungen für den Anbau schnellwach-
sender Baumarten**
- 10:00 Uhr VOLKHARD SCHOLZ
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Mechanisierung der Feldholzproduktion
- 10:30 Uhr **Pause**

Feldholz II

Moderation: DIETER MURACH, Fachhochschule Eberswalde

- 11:00 Uhr KARL DÖHRER
ehem. im Hessischen Forstamt Diemelstadt
**20 Jahre Kurzumtriebsplantagen - Ein Erfahrungsbericht aus
Hessen**
- 11:30 Uhr HENRIK BACH
Ny Vraa Bioenergy I/S, Tylstrup
**Willow production and marketing in Denmark (Produktion und
Vertrieb von Weide in Dänemark)**
- 12:00 Uhr RAFFAELE SPINELLI
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sesto Fiorentino
**Short rotation coppice SRC production in Italy (Produktion
schnellwachsender Baumarten in Italien)**
- 12:30 Uhr **Mittagspause**

Exkursion
mit Bus oder eigenem Fahrzeug ab IHK Potsdam

13:30 Uhr

ATB Potsdam-Bornim

Versuchsfelder für Energiegetreide, Gras und Feldgehölze,
Labore zur Erzeugung und Verstromung von Biogas
Leibniz-Institut für Agrartechnik
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam-Bornim

oder

13:30 Uhr

LVLG Güterfelde

Versuchsflächen für Biogaspflanzen wie Sudangras und Zuckerhirse
mit Variation der Fruchtfolge und Erntetermine
Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuord-
nung Berliner Straße
14532 Güterfelde

16:30 Uhr

*Voraussichtliches Ende
der Fachtagung
Rückfahrt zu IHK und Bhf. Potsdam*

Energiepflanzenproduktion in Deutschland – Entwicklungen und Forschungsaktivitäten

Production of energy plants in Germany – developments and R&D-activities

Henryk Stolte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Hofplatz 1, 18276 Gülzow

E-Mail: h.stolte@fnr.de

Kurzfassung

Nachwachsende Rohstoffe wurden in 2006 in Deutschland auf mehr als 1.500.000 ha angebaut. Dies entsprach mehr als 13 Prozent unserer Ackerflächen. Der Schwerpunkt lag dabei mit ca. 1,1 Millionen ha auf Energiepflanzen für die Treibstoff- und Biogasproduktion. Wichtige Energiepflanzen sind aktuell Raps, Mais und die Getreidearten. Aufgrund steigender Energie- und Holzpreise wächst derzeit jedoch auch das Interesse an der Produktion von Feldgehölzen im Kurzumtrieb. Noch spiegelt sich dieses Interesse in aktuellen Agrarstatistiken nicht wieder, aber dies wird sich nach Überzeugung aller Experten kurzfristig ändern.

Eine besonders dynamische Entwicklung mit hoher Praxisbedeutung ist seit Inkrafttreten des neuen Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im August 2004 im Biogasbereich zu beobachten. Die Energiepflanzenproduktion für diesen Sektor ist innerhalb weniger Monate von einem geringfügigen Niveau auf mehr als 200.000 ha im Jahr 2006 angewachsen. Auf Basis vorliegender Zahlen zum Anbau von Biogassubstraten auf Stilllegungsflächen sowie mit Energiepflanzenprämie kann abgeschätzt werden, dass der Maisanteil dabei derzeit oberhalb von 80 Prozent liegt.

Vertreter aus dem Natur- und Umweltschutz schreiben in diesem Zusammenhang teilweise von „undurchdringbaren Maiswüsten“ und „vergifteten Böden“. Diese Kritik ist sicherlich überzogen, denn Mais ist eine vorzügliche Energiepflanze und für den „Landwirt als Energiewirt“ gelten genau die gleichen Standards wie für den Produzenten von Lebensmitteln. Tatsache bleibt jedoch, dass der weitere Ausbau der Bioenergie auf Nachhaltigkeit und breite gesellschaftliche Akzeptanz setzen muss.

Die Forschung beschäftigt sich - und dies selbstredend nicht nur aufgrund von Akzeptanzproblemen - verstärkt mit alternativen Energiepflanzen und optimierten Anbausystemen. Zu den Hoffnungsträgern zählen u. a. Arten der Gattung *Sorghum* sowie *Silphium perfoliatum*. Ausgehend vom Motto der Veranstaltung „Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz“ werden im Vortrag die im Rahmen des Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe verfolgten For-

schungskonzepte zu Biogassubstraten sowie zu Schnellwachsenden Baumarten vorgestellt.

Schlüsselwörter: Energiepflanzen, Biogas, Feldgehölze, Agroforstsysteme, Forschungsförderung

Einleitung

Der Anbau nachwachsender Rohstoffe überstieg im Jahr 2006 in Deutschland deutlich eine Gesamtfläche von 1.500.000 ha (siehe **Bild 1**). Dies entsprach in etwa einer Verdoppelung der Non-Food-Produktion gegenüber dem Jahr 2000. Mehr als 13 Prozent der in Deutschland insgesamt zur Verfügung stehenden Ackerflächen wurden für die Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzt.

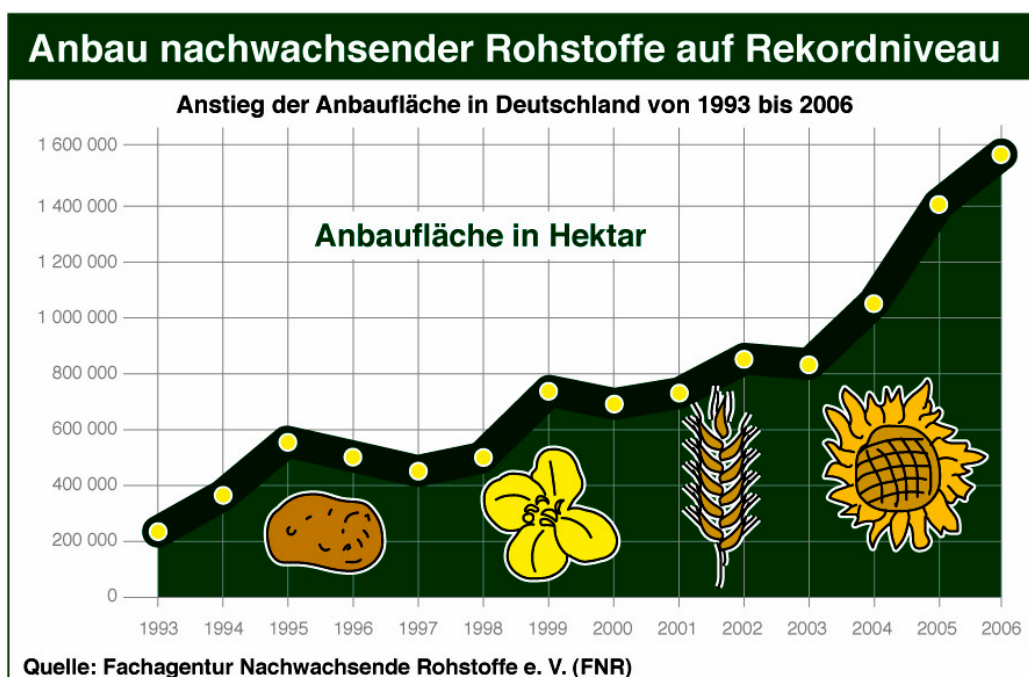


Bild 1: Entwicklung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe 1993 - 2006

Im Jahr 2006 wurden 5,3 Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs durch regenerative Energien gedeckt. Davon entfiel ein Anteil von fast 70 Prozent auf die Biomassenutzung. Ziel der Bundesregierung ist es, den Anteil erneuerbarer Energien an Primärenergieerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 20 Prozent zu steigern. Dem weiteren Ausbau der Nutzung landwirtschaftlich erzeugter Energiepflanzen wird dabei eine Schlüsselrolle zukommen.

Die Ausweitung der energetischen Nutzung von Biomasse erfordert verlässliche Rahmenbedingungen. Wichtige Impulse haben sich aus der Novellierung des Erneuerbare-

Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 sowie aus der Gesetzgebung für Biokraftstoffe ergeben. Die Einbeziehung eines speziellen NaWaRo-Bonus in die Berechnung der Stromeinspeisungstarife hat dazu geführt, dass nicht nur die Zahl der Biogasanlagen sowie die installierte Leistung steigen, sondern besonders auch der Einsatz von landwirtschaftlich erzeugten Energiepflanzen. Dabei setzt die Praxis derzeit zu einem hohen Prozentsatz auf Silomais. Auf Basis vorliegender Zahlen zum Anbau von Biogassubstraten auf Stilllegungsflächen sowie mit Inanspruchnahme der Energiepflanzenprämie kann abgeschätzt werden, dass der Maisanteil bei etwa 80 Prozent liegt.

Mais ist als C4-Pflanze eine vorzügliche Kulturart für die Energieproduktion. Standorteignung und Ertragsniveau werden permanent durch intensive Züchtung verbessert. Die relativ einseitige Ausrichtung auf ein Biogassubstrat führt jedoch verstärkt zu Kritik, besonders aus dem Bereich Natur- und Umweltschutz. In Pressemitteilungen war zuletzt häufig von „Maismonokulturen“, „undurchdringbaren Maiswüsten“ und „vergifteten Böden“ die Rede.

Das Deutsche Maiskomitee e.V. (DMK) hat vor wenigen Wochen in einer Pressemitteilung eine Versachlichung der Mais-Diskussion angemahnt. Darin wird - mit statistischen Daten untermauert - darauf hingewiesen, dass in den letzten zehn Jahren überhaupt noch keine nennenswerte Ausweitung des Maisanbaus in Deutschland zu beobachten war. Vielmehr wurden wesentliche Anteile der zunehmenden Energiemaisproduktion durch rückläufige Körnermaisflächen sowie den abnehmenden Anbau von Silomais für Fütterungszwecke kompensiert. Auch für 2007 wird nach einer vom DMK beauftragten Marktstudie lediglich ein moderater Anstieg des Maisanbaus um ca. 2,6 Prozent erwartet.

Projiziert man diese relativ geringe Steigerungsrate in die Zukunft, wären dann jedoch im Jahr 2020 in Deutschland etwa 2,5 Mio. ha Maisanbau bzw. 20 Prozent der zur Verfügung stehenden Ackerfläche erreicht. Eine ähnliche Prognose ergibt sich, wenn man unterstellt, dass auch künftig in Biogasanlagen zu mehr als 80 Prozent auf Mais gesetzt wird, und wenn man aktuellen Potentialabschätzungen folgt, die für den Anbau von Biogassubstraten einen künftigen Flächenbedarf von bis zu 2 Mio. ha erwarten. Food- und Non-Food-Maisflächen lägen auch in diesem Fall in der Summe bei ca. 3 Mio. ha.

Den oben angesprochenen Kritikern kann sicherlich entgegnet werden, dass für den „Landwirt als Energiewirt“ genau die gleichen (u. a. Umwelt-) Standards gelten wie für den Produzenten von Lebensmitteln. Humusbilanzen, Dünge- und Pflanzenschutzmittelverordnungen usw. müssen eingehalten werden, wenn Landwirte ihre Zahlungsansprüche nicht riskieren wollen. Tatsache bleibt jedoch insgesamt, dass der weitere Ausbau der Bioenergie ohne breite gesellschaftliche Akzeptanz, die wiederum die Ausgestaltung politischer Rahmenbedingungen bestimmen wird, nicht funktionieren kann.

Der Anbau von Energiepflanzen auf hohen Flächenanteilen muss auch in künftigen Szenarien wirtschaftlich und umweltverträglich gestaltet werden. Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. sieht daher - nicht nur im Biogasbereich - erhöhten Forschungs- und Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Schaffung einer nachhaltigen, in möglichst aufgelockerten Fruchtfolgen produzierten Rohstoffbasis.

Neue Anbaukonzepte, die ökonomisch, ökologisch und flächeneffizient zu gestalten sind, erfordern nicht zuletzt auch die in den nächsten Jahren zur Marktreife kommende neue Generation von biogenen Treibstoffen, die sogenannten Biomass-to-Liquid-Kraftstoffe, kurz BtL (weiterführende Informationen unter www.btl-plattform.de).

Dabei bestehen aus Sicht der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. zwischen der Biogas- und der BtL-Produktion interessante Möglichkeiten, Synergieeffekte zu schaffen, über eine breite Rohstoffbasis die Artenvielfalt (Biodiversität) in der Landwirtschaft zu erhöhen und Nährstoffkreisläufe zu schließen.

Aktivitäten im Bereich Energiepflanzenanbau

Anfang der 90er Jahre, d. h. in der Gründungszeit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., dominierte noch die agrarpolitische Fragestellung, wie die zur Verfügung stehenden Stilllegungsflächen sinnvoll genutzt werden können. Neben den Ölsaaten für die Kraftstoffproduktion sowie als maßgeschneiderte Rohstoffe für die chemische Industrie lagen die Hoffnungen damals auf biogenen Festbrennstoffen. Besonders Dauerkulturen, wie *Miscanthus sinensis* („Chinaschilf“) und schnellwachsende Baumarten, wurden intensiv beforscht.

Allein zu *Miscanthus* wurden 35 Projekte mit einem Mittelvolumen von rund 28 Mio. DM gefördert.

Eine ähnlich umfangreiche Unterstützung erhielten schnellwachsende Baumarten, wie Pappeln und Weiden. Auch zu Schnellwuchsplantagen wurden diverse Projekte zur Anbauoptimierung sowie zu vielfältigen ökologischen Fragestellungen gefördert.

Die Umsetzung der hierzu vorliegenden Forschungsergebnisse blieb bislang gering. Erst in den letzten Monaten deutet sich – ausgehend von steigenden Energie- und Holzpreisen – ein gewisses Wachstum der Praxisbedeutung an. Besonders auch die brandenburgischen Landwirte interessieren sich aktuell sehr stark für diese Produktionsrichtung, weil sie im Anbau von Feldgehölzen eine sinnvolle Alternative für mäßige Standorte sehen.

Zeitgleich mit der Einführung der Energiepflanzenprämie für den Anbau nachwachsender Rohstoffe auf den sogenannten Basisflächen sowie mit der Novellierung des neuen EEG im Jahr 2004 (vgl. Einleitung) wurden die Aktivitäten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. im Bereich der Energiepflanzenforschung deutlich intensiviert.

Zur Abstimmung neuer Förderschwerpunkte wurden zunächst diverse Fachveranstaltungen durchgeführt. Den Auftakt bildete im Februar 2004 eine gemeinsam mit dem Bundesverband BioEnergie e.V. (BBE) organisierte Veranstaltung zum Thema „Ausbau der Bioenergie - im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz“.

Darauf aufbauend wurden zwei weitere Fachveranstaltungen mit Experten aus der Agrarforschung durchgeführt, die dann insgesamt (grob zusammengefasst) zu den folgenden

wesentlichen Ergebnissen bezüglich der künftigen Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion führten.

1. Es ist ein hoher Nettoenergieertrag je Flächeneinheit anzustreben.
2. Die Möglichkeiten, neue ackerbauliche Konzepte (z.B. Mischfruchtanbau, Zweikulturen-Nutzungssystem) umzusetzen, sind zu prüfen.
3. Es sollten neue Kulturarten evaluiert werden, die geeignet sind, einen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität in der Landwirtschaft zu leisten.
4. Ertragspotenzial und Ertragssicherheit von Energiepflanzen sind über gezielte Anbau- und Züchtungsforschung zu verbessern.
5. Bestehende und zu entwickelnde Anbausysteme sind nach ökonomischen und ökologischen Kriterien ganzheitlich zu bewerten.

In der Folge wurden bis Mitte 2007 etwa 50 neue Energiepflanzenprojekte mit einem Mittelvolumen von mehr als 13,5 Mio. Euro begonnen. Der Forschungsetat für diesen Bereich wurde in den letzten zwei Jahren mehr als verdoppelt, die Zahl der Projekte sogar nahezu verdreifacht. Besonders stark intensiviert wurde der Bereich Züchtung. Allein schon die vollständige Aufzählung dieser Vorhaben würde den Vortragsrahmen sprengen, einige Highlights sollen jedoch im folgenden dargestellt werden.

Eines der wichtigsten und umfangreichsten Förderprojekte ist aktuell das von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft koordinierte Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, kurz EVA genannt (siehe **Bild 2**). In diesem Projekt, das mit Bundesmitteln in Höhe von 5,6 Mio. Euro unterstützt wird, werden in einem sogenannten Grundversuch an sieben Standorten im Bundesgebiet, die typische deutsche Agrarregionen repräsentieren, zunächst drei Jahre je acht verschiedene Energiepflanzen-Fruchtfolgen angebaut und unter vielfältigen Aspekten untersucht.

Das Gesamtprojekt gliedert sich in sechs Teilvorhaben, die von Forschungspartnern aus insgesamt neun Bundesländern betreut werden. In den Teilprojekten werden verschiedene Minimierungsstrategien bezüglich Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz, Grundlagen für die Zusatzbewässerung, die Standorteignung von Zweikulturen-Nutzungssystem und Mischfruchtanbau sowie die Silierung und Biogasausbeute verschiedener Energiepflanzen untersucht. Das Konzept wird durch eine umfangreiche ökonomische und ökologische Begleitforschung ergänzt.

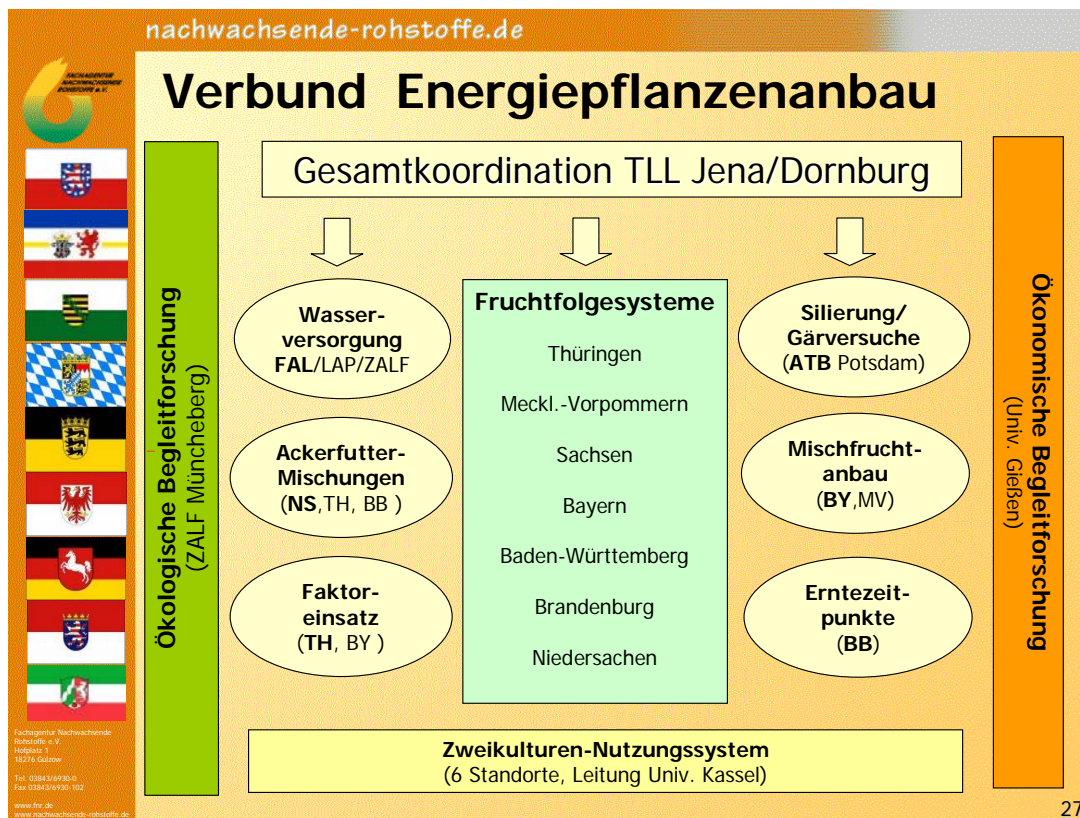


Bild 2: Schematische Darstellung des Verbundvorhabens „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA)

Die Fruchtfolgen umfassen neben gängigen Arten wie Mais, Gerste, Roggen und Hafer auch Ölrettich, Topinambur, Senf, Zuckerhirse, Sudangras, Sonnenblumen und weitere, bislang eher weniger verbreitete Arten.

Mit dem EVA-Projekt, das Dr. Armin Vetter im nachfolgenden Vortrag noch näher vorstellen wird, soll insbesondere der einseitigen Ausrichtung von Fruchtfolgen im Energiepflanzenanbau entgegen gewirkt werden. Es soll untersucht und der Praxis vermittelt werden, an welchem Standort welche Energiepflanze in welchem Fruchtfolge- oder Anbausystem aus ökologischer und ökonomischer Sicht zu favorisieren ist.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet das Verbundvorhaben „BioLog: Entwicklung, Erprobung und Demonstration von neuen Logistikkonzepten für Biobrennstoffe“. Das Verbundvorhaben BioLog baut auf dem EVA-Projekt auf. Ziel von BioLog ist es, aus einjährigen, mittels Silierung konservierten Energiepflanzen, einen trockenen, energiereichen und schadstoffarmen Festbrennstoff zu erzeugen, der optimal in der Energieerzeugung eingesetzt werden. Die dabei anfallenden Presssäfte sollen in Biogasanlagen verstromt werden. Über die anfallenden Gärreste sollen Nährstoffkreisläufe geschlossen werden.

BioLog stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen der Erzeugung von Energiepflanzen und der Produktion von synthetischen Kraftstoffen (BtL) dar (vgl. **Bild 3**).



Bild 3: BtL-Strategie der FNR

Auf Basis der Ergebnisse eines Verbundvorhabens mit dem Titel „Energiepflanzen für die Biogasproduktion“ wurde die pflanzenbauliche Forschung zu den Hirsearten (*Sorghum* spp.) sowie zur Durchwachsenden Silphie (*Silphium perfoliatum*) verstärkt, da sich abzeichnet, dass diese Arten eine interessante Fruchtfolgebereicherung, speziell für trockene Anbaugelände, d. h. auch für brandenburgische Standortverhältnisse, darstellen könnten. Auch hierauf wird in nachfolgenden Vorträgen noch näher eingegangen.

Das Spektrum an züchterisch zu bearbeitenden Energiepflanzenarten wurde in den letzten Monaten stark erweitert. Aktuell laufen u. a. Züchtungsvorhaben zu Sonnenblumen, Hirsen, Raps/Rübsen, Roggen und Weizen, Weidelgräser, Winterackerbohne und Triticale.

Mehrere neue Forschungsprojekte beschäftigen sich mit der landwirtschaftlichen Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen sowie von Aschen aus Verbrennungsprozessen. Für die Nutzung von Biomasseaschen zu Düngungszwecken existieren bislang keine ausreichenden Rahmenbedingungen. Teilweise fehlen wissenschaftliche Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen aus Gärresten und Aschen. Mit zunehmender Biomassenutzung sowie aufgrund der Endlichkeit der Phosphor-Vorräte ist diesen Aspekten künftig eine besondere Bedeutung beizumessen.

Zum Themenkomplex „Schnellwachsende Baumarten und Agroforstsysteme“ wurde im September 2006 am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim eine spezielle Fachveranstaltung durchgeführt.

Ausgehend von dieser Fachveranstaltung wird derzeit mit der Umsetzung neuer Schwerpunkte in diesem Bereich begonnen. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf Sortenfragen

und die Bereitstellung geeigneten Pflanzenmaterials, die Identifikation von Standort-Ertragsfunktionen sowie auf die Erntetechnologie.

Ein umfangreiches Verbundvorhaben zur Etablierung, wissenschaftlichen Begleitung und Optimierung von Agroforstsystemen, darunter auf einem Standort in Brandenburg, befindet sich in Vorbereitung.

Mit dem Ziel, neue Pappelhybriden zu züchten, die gute Wuchsleistungen, geringe Standortansprüche und optimierte Holzeigenschaften verbinden, wurde ein Verbundvorhaben mit dem Kurztitel „Innovative Hybridpappeln“ gestartet. Ein weiteres Projekt beschäftigt sich hier in Brandenburg mit der Robinie, die speziell auf Rekultivierungsflächen Ertragsvorteile zeigt.

Eine von Dr. Martin Hofmann, Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V., erarbeitete, ca. 50-seitige Broschüre mit dem Titel „Energieholzproduktion in der Landwirtschaft“ befindet sich in der Endredaktion. Sie wird spätestens zu einem für den 24./25. Oktober 2007 in Berlin geplanten Energiepflanzenkongress erscheinen.

Bereits verfügbar ist die mit unserer Unterstützung erstellte „Datensammlung Energiepflanzen“ des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Bezug über www.ktbl.de). Die Publikation widmet sich insbesondere den Produktionskosten von Feldgehölzen und Biogassubstraten.

Ausführliche Darstellungen zu den Forschungsprojekten, Informationen zu weiteren Terminen sowie zu verfügbarer Literatur können der seit März 2007 geschalteten Internetseite www.energiepflanzen.info entnommen werden.

Ausblick

Dem Bereich Energiepflanzenanbau wird in der Arbeit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. auch in Zukunft eine erhebliche Bedeutung beizumessen sein, um den steigenden Bedarf an Rohstoffen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien abdecken zu können. Dabei wird die bis dahin sehr erfolgreiche und angenehme Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Praktikern aus Brandenburg fortgesetzt.

Weiterführende Literatur

Biomassepotenzialstudien im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU):

FRITSCH U.R. et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Öko-Institut e.V., Darmstadt, <http://www.oeko.de/service/bio/dateien/de/bio-final.pdf>

NITSCH J. et al. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart, <http://www.bmu.de/files/bioenergie.pdf>

Internetseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe:

www.nachwachsende-rohstoffe.de

www.energiepflanzen.info

www.btl-plattform.de

Internetseite zum EVA-Verbund:

www.tll.de/vbp

Weitere relevante Internetseiten:

www.ktbl.de

www.tll.de/ainfo

www.maikomitee.de

www.biogas.org

www.atb-potsdam.de

www.hero-hessen.de

Möglichkeiten und Grenzen des Energiepflanzenanbaus

Potentials and constraints of cultivating energy crops

Armin Vetter

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Apoldaer Straße 4, 07778 Dornburg

E-Mail: a.vetter@dornburg.tll.de

Schlüsselworte: Anbausysteme, Sudangras, Agroforstsystem, Energiepflanzen, Potenziale

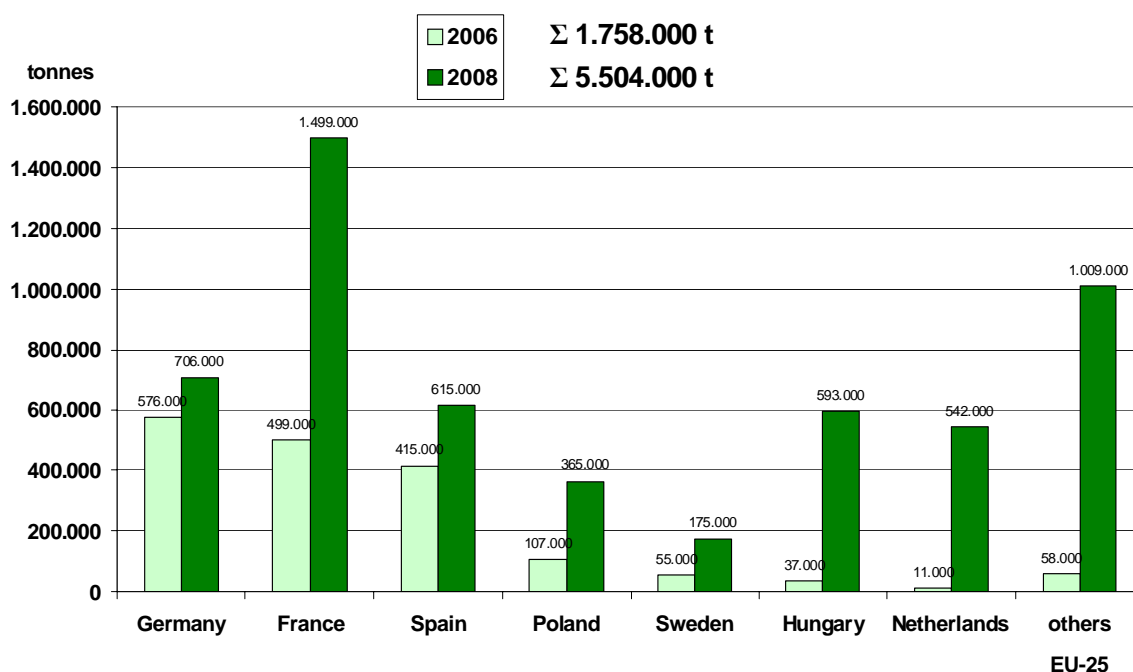
Die Landwirtschaft steht zukünftig weltweit vor der Aufgabe, vermehrt Nahrungsmittel zu produzieren, nachwachsende Rohstoffe, insbesondere für die Energieerzeugung bereitzustellen, und dies mit möglichst umweltschonenden sowie nachhaltigen Produktionsverfahren. Die Nachfrage an Nahrungsmitteln wird durch die wachsende Weltbevölkerung, aber auch durch veränderte Nahrungsgewohnheiten in den bevölkerungsreichsten Schwellenländern China, Indien, Argentinien, Brasilien und Russland stark ansteigen. Die FAO schätzt (ZINKE 2007), dass allein diese Länder ihre Nahrungsmittelimporte bis 2030 verfünffachen. Auf der anderen Seite weist die Shell-Studie auf einen um 57 % erhöhten Energieverbrauch von 2000 zu 2025 hin. Unabhängig von der Diskussion um den Zeitpunkt, an dem die Vorräte an fossilen Energieträgern erschöpft sind, wird mit der Erreichung des Fördermaximums bei Erdöl, die meisten Experten sehen dies zwischen 2010 und 2015, ein drastischer Preisanstieg erfolgen. Obwohl Nahrungsmittel- und Energiemärkte nicht unmittelbar gekoppelt sind, sagt z. B. die OECD bei einem Preis von 60 Dollar pro Barrel einen Anstieg der Weltmarktpreise für Weizen um 15 %, Weißzucker um 20 % und Ölsaaten um 28 % voraus (AGR/CA/APM 2005).

Die EU als weltgrößter Agrarexporteur (Deutschland Platz 4!) dürfte von dieser Entwicklung profitieren. Gleichzeitig ist die Europäische Union sehr stark von Energieträgerimporten, vor allem Öl und Gas, abhängig. Beide Tatbestände, verbunden mit der Diskussion um die Versorgungssicherheit bei Nahrung und Energie und dem Klimaschutz haben zu einer Reihe politischer Weichenstellungen hin zur verstärkten Nutzung regenerativer Energien, insbesondere Biomasse sowohl bei der EU als auch in Deutschland, geführt. So wurde über die Biokraftstoffrichtlinie für 2010 der Zielwert von 5,75 % Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch ausgegeben. Bis 2020 soll sich der Anteil auf 10 % erhöhen mit bindender Wirkung für alle EU-Staaten. Dass die Länder zu reagieren be-

ginnen, verdeutlicht das **Bild 1**. Die Verarbeitungskapazität bei Ethanol wird sich innerhalb von 2 Jahren bis 2008 in der EU verdoppeln.

Ähnliche Entwicklungstendenzen zeichnen sich beim weltgrößten Energieverbraucher USA ab.

Um die Größenordnung zu veranschaulichen, sei die Verarbeitungskapazität der USA bei Ethanol von 16 Mrd. Liter \triangleq 40 Mio. t Mais (2005) aufgeführt (2007: 63 Mio. t Mais). Diese Menge entspricht einer durchschnittlichen Getreideernte Deutschlands. Die Zahlen belegen, dass in naher Zukunft nicht mehr mit einer Überproduktion an Nahrungsmitteln = Biomasse in der Welt zu rechnen ist, sondern eine erhebliche Nachfrage zu verzeichnen sein wird.



Quelle: COM(2006) 500 final

Bild1: Entwicklung der Produktionskapazität für Ethanol in der EU

Damit stellt sich die Frage nach den Potenzialen und deren Herleitung. FRITZSCHE *et. al.* (2004) geht bei drei verschiedenen Szenarien von einem Anbauumfang von 17 bis 28 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche für Energiepflanzen in Deutschland aus (**Bild 2**), das entspricht ca. 3,5 bis 4,5 Mio. ha.

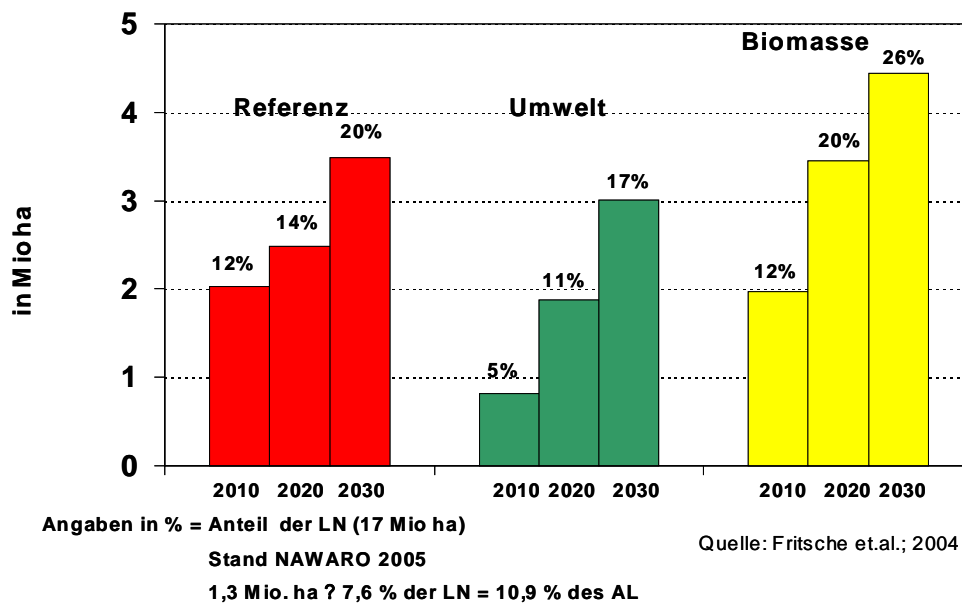


Bild 2: Anbauflächenpotenziale für Energiepflanzen

Kurzfristig, d. h. bis zum Jahr 2010, stehen nach der gleichen Quelle aus der Land- und Forstwirtschaft an Agrarprodukten, Neben- und Hauptprodukten ca. 1.200 PJ/a für die energetische Nutzung zur Verfügung. Das Potenzial setzt sich zu ca. 46 % aus dem Anbau von Energiepflanzen, dem Nebenprodukt Stroh (7 %) und aus der Forst- und der Sägeindustrie anfallenden Nebenprodukten (23 %) zusammen. Bei der Abproduktverwertung trägt das Biogas auf der Basis von Gülle und Festdung mit 12 % noch einen erheblichen Teil zum energetisch nutzbaren Biomassepotenzial bei. Diese Potenziale werden von den unterschiedlichsten Verwertungslinien beansprucht, genannt sei vor allem Holz für die Erzeugung von Wärme und Elektroenergie, Raps und Getreide für die Erzeugung von Rapsölmethylester und Ethanol sowie Feuchtbiomasse, d. h. Silagen aus Mais, Ganzpflanzengetreide, Ackerfutter, etc., als Ko- oder Monoferment für die Biogaserzeugung. Zusätzlich sollen zukünftig erhebliche Rohstoffmengen für die BtL-Herstellung bereitgestellt werden. Die in Bild 2 dargestellten Szenarien „Referenz“, „Umwelt“ und „Biomasse“ machen deutlich, dass es sich um politische Weichenstellungen handelt. Die politischen Potenzialgrenzen werden von folgenden Gesichtspunkten bestimmt:

- Sicherung der Nahrungsmittelproduktion
- Flächen für Naturschutz und Landschaftsgestaltung
- Forcierung des Klimaschutzes
- Schonung fossiler Ressourcen (Nachhaltigkeit).

Die entscheidende, das Potenzial beeinflussende Größe, sind die Weltmarkt- bzw. EU-Preise für Nahrungs- und Futtermittel. Der Landwirt, „Wirt“ steht hierbei nicht für Gastwirtschaft, sondern für Betriebswirtschaft, steigt in die Energiepflanzenproduktion dann ein, wenn der Gewinn je Flächeneinheit bzw. der Deckungsbeitrag über dem jeweiligen

für die Food-Produktion liegt. Der erzielbare Preis für Energiepflanzen hängt wiederum wesentlich von den Preisen für fossile Energieträger ab.

Die aufgeführten ökonomischen und politischen Potenzialgrenzen sind zusätzlich mit naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten zu diskutieren. Für die Höhe des Ertrages je Flächeneinheit sind die Pflanzenarten, dabei vor allem die Wahl zwischen C3- und C4-Pflanzen und vor allem das Wasserangebot die entscheidenden Kriterien. Die Wasser-Boden-Ertragsbeziehung für die C4-Pflanze Mais mit einem unterstellten Evapotranspirationskoeffizienten von 200 l Wasser/kg ist in **Bild 3** dargestellt. Auch wenn die Züchtung neuer Energiemaissorten bereitstellt, ist deren Ertragspotenzial an vielen Standorten, dabei wiederum vor allem den trockeneren Standorten Deutschlands, nicht ausschöpfbar.

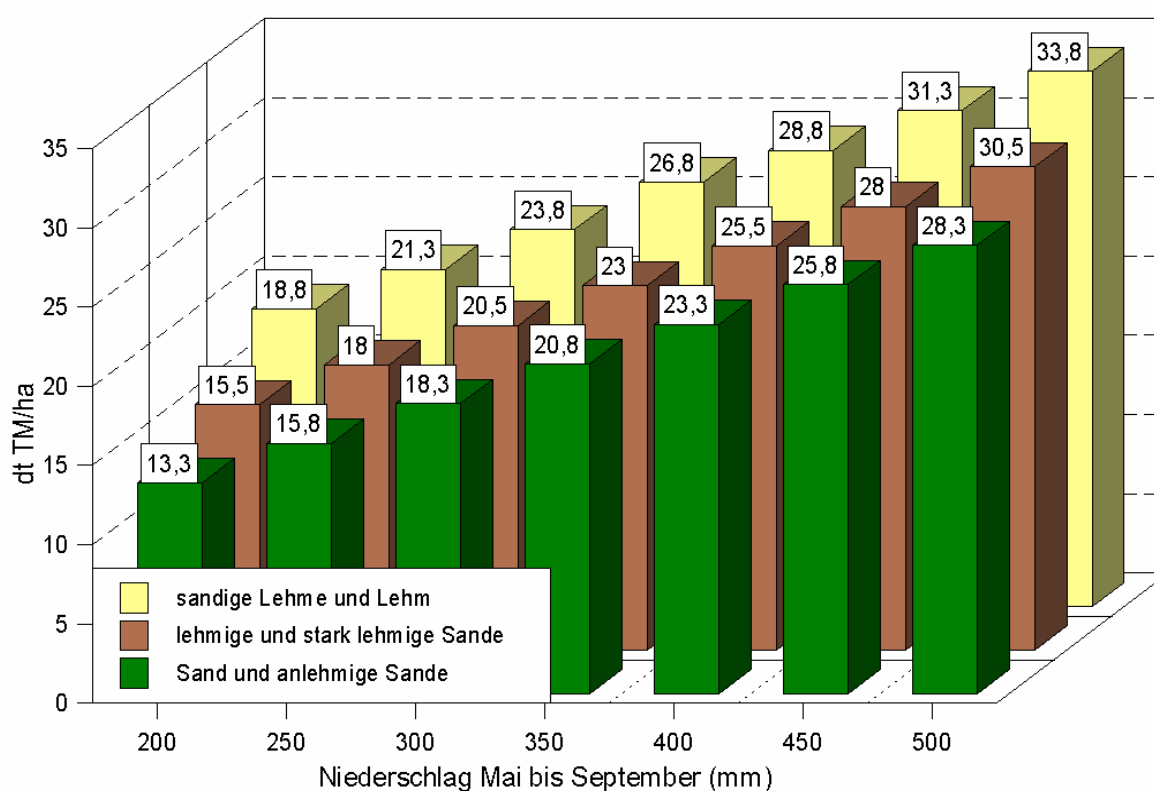
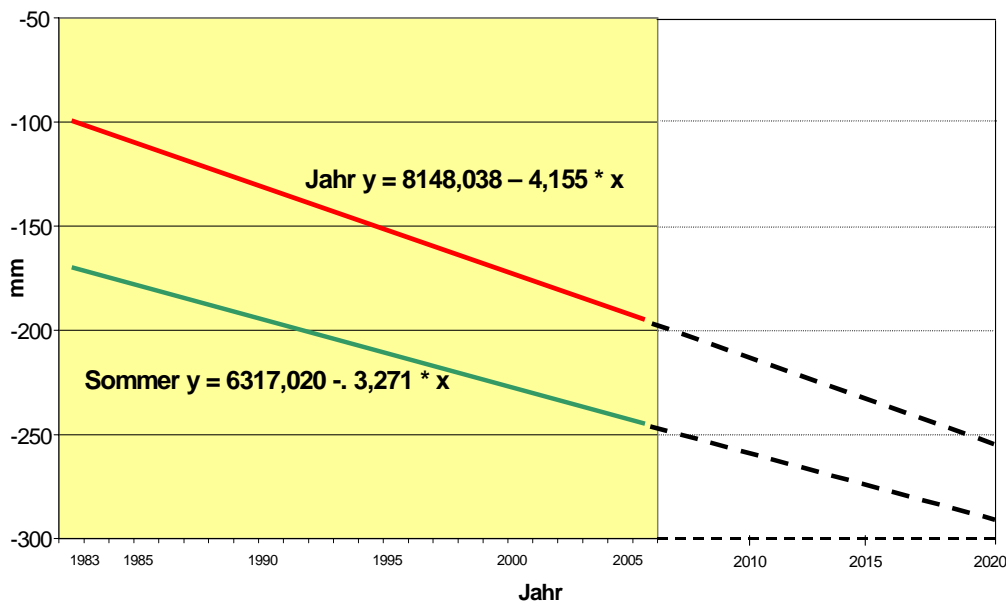


Bild 3: Ertragspotenzial von Mais in Abhängigkeit vom Niederschlag während der Vegetationsperiode und dem pflanzenverfügbaren Bodenwasser (Mai - September)

Unter den sich verändernden klimatischen Bedingungen, d. h. einer zunehmenden negativen „Klimatischen Wasserbilanz“ in der Vegetationszeit wird sich die Situation nicht verbessern, sondern ist eher kritisch zu sehen. Im Trend hat am Standort Buttstedt (Thüringer Becken) das Defizit bei der klimatischen Wasserbilanz in den letzten zwanzig Jahren während der Vegetationszeit um 70 mm zugenommen (**Bild 4**).



Quelle: H. Michel, TLL 2007 (ergänzt A. Vetter)

Bild 4: Trend der Klimatischen Wasserbilanz KWB in der Vegetationsperiode und im Gesamtjahr am Standort Buttstedt (abgeleitet aus der Regressionsanalyse 1983-2006)

Sollte sich dieser Trend in den folgenden Jahren bestätigen bzw. fortsetzen, und die Prognosen deuten darauf hin, kann das zu erheblichen Ertragseinbußen bei den traditionellen landwirtschaftlichen Fruchtarten führen, denen nur mit Züchtung, Artenwahl, wassersparender Bodenbearbeitung, Verdunstungsschutz (Agroforstsystem) und einer ausgewogenen Humuswirtschaft begegnet werden kann. Deshalb ist für die Erweiterung des Energiepflanzenanbaus in der Fläche die Verwertungsrichtung in Bezug auf die Humusbilanz zukünftig verstärkt zu beachten. Der Landwirt muss zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Nachhaltigkeitsprinzip) eine ausgeglichene bzw. leicht positive Humusbilanz gewährleisten. Die energetische Verwertung von Energiepflanzen bedeutet die Entnahme von Kohlenstoff aus dem Bodenkreislauf. Ein Teil des pflanzlichen Kohlenstoffs muss auf der Fläche verbleiben bzw. rückgeführt werden. Bei der Verwertung von Raps- und Getreidekörnern für Kraftstoffe verbleibt das Stroh zur Humusproduktion auf dem Feld. In Abhängigkeit von der Fruchtfolge und der Zufuhr organischer Substanz aus der Tierproduktion kann überschlägig kalkuliert 25 bis 40 % des Strohs, z. B. für die Wärmeerzeugung entnommen werden. Bei einer Ganzpflanzennutzung, z. B. für die Erzeugung von Biogas oder der Verbrennung bzw. Vergasung, z. B. für die BtL-Herstellung, wird die gesamte oberirdisch aufgewachsene Biomasse genutzt. Während bei der Biogasnutzung die nicht vergärbaren ligninhaltigen Bestandteile zurück auf den Acker kommen und z. T. zur Humusproduktion beitragen, wird bei der Verbrennung /Vergasung der gesamte Kohlenstoff dem Humuskreislauf entzogen (**Bild 5**).

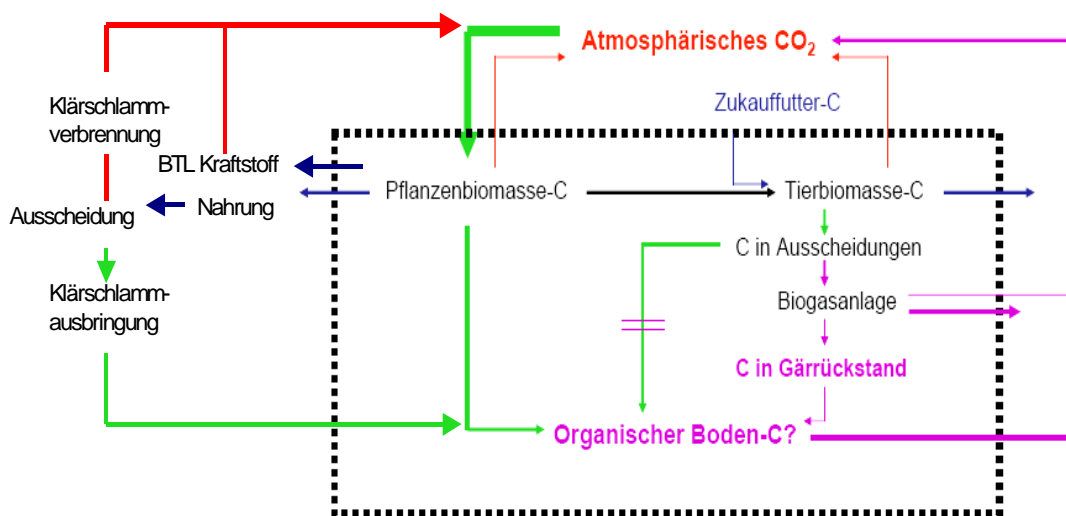


Bild 5: C-Flüsse in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit Bereitstellung von Rohstoffen zur Kraftstoff- und Biogasproduktion (ergänzt nach ENGELS HU Berlin, 2006)

Für die Biokraftstoffherzeugung werden vor allem Raps zur Herstellung von Rapsölmethylester und Rapsöl zur Dieselsubstitution und Getreide für die Ethanolherstellung angebaut. Der Anbau von Non-Food-Raps steht in Konkurrenz zum Anbau von Food-Raps und Getreide. Hinsichtlich der Qualitätskriterien bestehen keine wesentlichen Unterschiede. Steigende Nachfrage führt zur Anbauerweiterung. Diese stößt allerdings an fruchtfolgetechnische Grenzen. Anbaupausen von weniger als vier Jahren führen zu Ertragseinbußen. Diese „Schulbuchweißheit“ wird von Datenerhebungen der bundesweiten Ernteterminung (Daten Thüringen) eindeutig belegt (**Bild 6**).

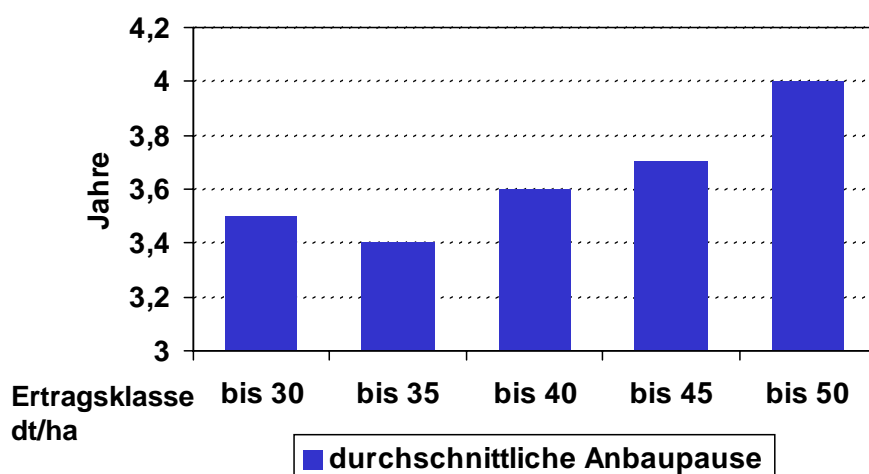


Bild 6: Datenerhebung der BEE 2004 Ertrag Winterraps (dt/ha) in Abhängigkeit von der Anbaupause

Bei Einhaltung von Fruchtfolgegrenzen ist für Deutschland ein maximaler Anbauumfang von 1,8 Mio. ha anzusetzen. Diese Fläche ist nicht ausreichend, um den Bedarf von 3 Mio. t Saat der im Betrieb bzw. im Bau befindlichen Biodieselanlagen abzudecken. Fehlmengen werden bei Food- und Non-Food-Raps über Importe ausgeglichen. Für die Produktion von Rapsölmethylester kommen zusätzlich in bestimmten Anteilen importierte Pflanzenöle, z. B. Palmöl, zum Einsatz. Für die Ethanolproduktion bauen die deutschen Landwirte vorrangig Weizen, Roggen und Triticale an. Bei Roggen hat dies zu einer Stabilisierung der Preise und des Anbauumfanges geführt. Da Rohprotein bei der Ethanolproduktion stört, werden vorrangig stärkereiche Back- und Futterweizen (B- und C-Weizen) eingesetzt. Über die Anbauverwertungsstrategie hinsichtlich Food oder Non-Food entscheidet bei Ölsaaten und Getreide vorrangig der Preis. Es erfolgt eine Verschiebung innerhalb der Marktfrüchte, z. B. von A- und E-Weizenanbau zum B- und C-Weizen- sowie Triticaleanbau. Engpässe oder Überschüsse können über Importe bzw. Exporte z. T. ausgeglichen werden.

Neben der Rohstoffbereitstellung für die Biokraftstoffproduktion hat sich die Biogasproduktion mit Einspeisung der erzeugten Elektroenergie zu einer neuen Einkommensquelle der Landwirtschaft entwickelt. Durch das „Erneuerbare Energien Gesetz“ wird der Einsatz von Kofermenten über den sogenannten NAWARO-Bonus in Biogasanlagen auf Güllebasis gefördert. Damit hat sich die Biogaserzeugung vor allem in Tierhaltungsbetrieben bzw. Marktfrucht-Futteranbaubetrieben etabliert.

Die Landwirtschaft setzt zur Zeit vorrangig Maissilagen und Getreidekörner ein. Eine Untersuchung von WEILAND (2006) zeigt, dass zusätzlich Ganzpflanzengetreide- und Grassilagen Verwendung finden. Die dominierende Rolle des Maises ist in den hohen Erträgen und einem ausgefeilten Produktionsregime begründet. Dies kann zu einer Ausdehnung über den fruchtfolgetechnisch wünschenswerten Maximalwert von 50 % in der Fruchtfolge führen. Umgekehrt kann in Regionen mit geringem Tierbesatz der zusätzliche Maisanbau einen Beitrag zur Auflockerung der Fruchtfolgen leisten. Grundsätzlich sollten daher keine reinen Energiepflanzenfruchtfolgen zur Silageproduktion neben Marktfruchtfolgen etabliert werden. Dessen ungeachtet ist es vor allem für Futterbauregionen notwendig, nach Alternativen bzw. Ergänzungen zum Maisanbau zu suchen.

Um Alternativen aufzuzeigen, hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe das Projekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ initiiert. In dem 2005 begonnenen Projekt sollen verschiedene landwirtschaftliche Kulturarten unter typischen Standortbedingungen Deutschlands auf ihre Ertragsfähigkeit (Ganzpflanzenertrag) und Eignung als Energiepflanze geprüft werden. Die Kulturarten werden dabei im Anbausystem, d. h. Hauptfruchtstellung mit und ohne Sommerzwischenfrucht, Winterzwischenfrucht - Zweitfruchtstellung, als Mischkultur und mit reduziertem Faktoreinsatz in der Fruchtfolge untersucht. Neben dem Nettoenergieertrag je Flächeneinheit ist es mit der gewählten Aufgabenstellung möglich, Frucht-

folgeeffekte, wie Mehr- und Mindererträge, Einflüsse auf den Nährstoff-, Wasser- und Humusgehalt des Bodens, phytosanitäre Effekte, z. B. Mykotoxinbelastung bei Getreide, die Einhaltung agrotechnischer Zeitspannen, z. B. für die Rapsaussaat, zu erfassen. Diese Parameter sollen anschließend komplex ökonomisch und ökologisch bewertet werden. Es gilt somit das gesamte System über mehrere Jahre zu bewerten und nicht den Ertrag einer Fruchtart im jeweiligen Anbaujahr. Die Teilprojekte, die Partner und die beteiligten Bundesländer sind in **Bild 7** dargestellt.

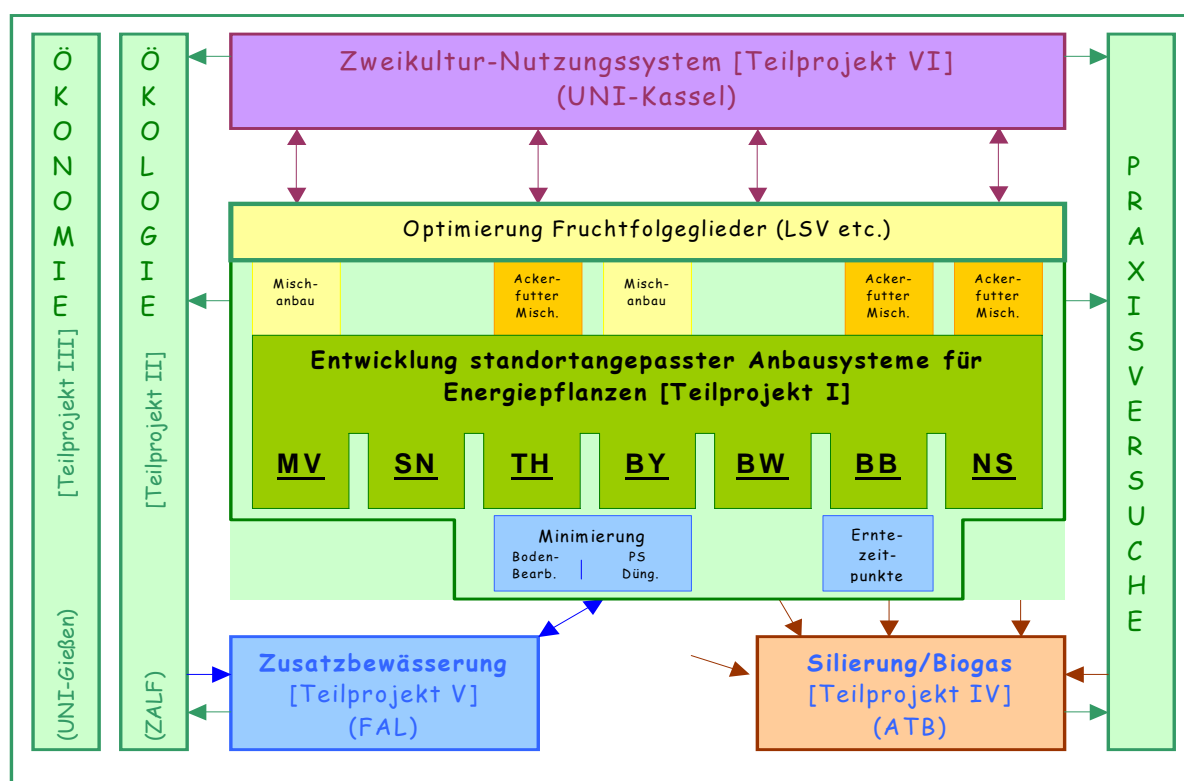


Bild 7: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen

Gegenwärtig ist als besonders aussichtsreich die Produktion von Ganzpflanzengetreide anzusehen. Wintertriticale und Winterroggen, geerntet Ende Milchreife bis Anfang Teigreife, sind außer auf Maisgrenzstandorten diesem ertraglich unterlegen, haben im Gesamtsystem jedoch einige Vorteile:

- günstige Vorfrucht für Winterraps
- gute Ausnutzung des Siloraumes
- Brechung von Arbeitsspitzen
- bessere Verteilung der Gärreste.

Entscheidend für die Ganzpflanzenproduktion ist die Wasserversorgung. Bei ausreichenden Niederschlägen und Bodenwasservorräten sind Erträge bis 15 t TM/ha möglich. Für betriebswirtschaftliche Berechnungen sollte mit Erträgen von ca. 12 t TM/ha als verkaufbare Silage kalkuliert werden.

Gegenwärtig wird der Anbau verschiedener Getreidesorten und Getreideartenmischungen erprobt. Ältere Untersuchungen haben ergeben, dass kein wesentlicher Ertragsanstieg zu erwarten ist, jedoch ist mit einer verbesserten Ertragsstabilität und einem höheren Gesundheitsstatus zu rechnen. Eine ähnliche Situation spiegelt sich beim Anbau von Hirsen wider. Es ist davon auszugehen, dass die Erträge und Anbaukosten auf den meisten Standorten etwas unterhalb von Mais liegen. Allerdings deutet sich an, dass zumindest die Hirsen etwas trockenstresstoleranter als Mais sind, sodass diese Pflanze auf den trockneren und weniger ertragsstarken Standorten eine Chance haben könnten (**Bild 8**).

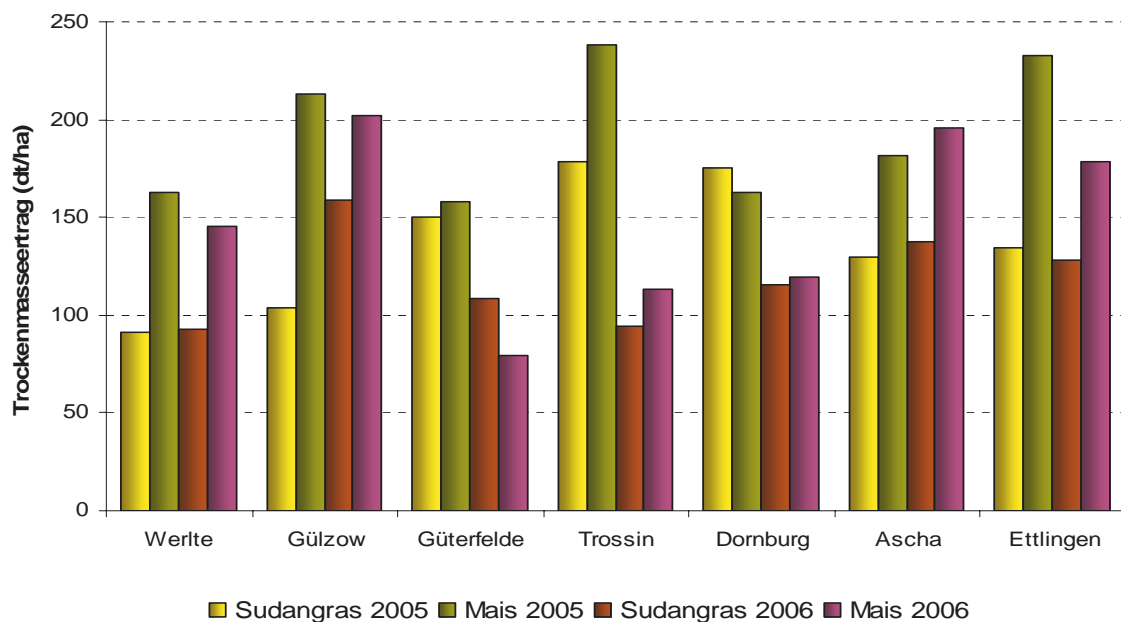


Bild 8: Gegenüberstellung der Erträge von Sudangrass und Mais (2005 / 2006)

Erste Ergebnisse des FNR-Projektes zeigen mit den Erträgen der Standorte Güterfelde, Trossin und Dornburg in die aufgeführte Richtung.

Vor dem Hintergrund möglichst hoher Bruttoenergieerträge auf der Fläche wird verstärkt das Zweikulturnutzungssystem diskutiert. Dabei ist theoretisch der Anbau einer Vielzahl von Fruchtarten möglich. Das bekannteste System ist der Anbau von Winterroggen oder Landsberger Gemenge als Winterzwischenfrucht mit nachfolgendem Zweitfruchtmais, wobei statt Mais auch Sudangrass und Zuckerhirse gebaut werden könnte. Erste Untersuchungen an mehreren Standorten zeigen, dass eine Zweikultur-

nutzung durchaus ertragliche Vorteile im Vergleich zum Hauptkulturanbau bringen kann (**Bild 9**).

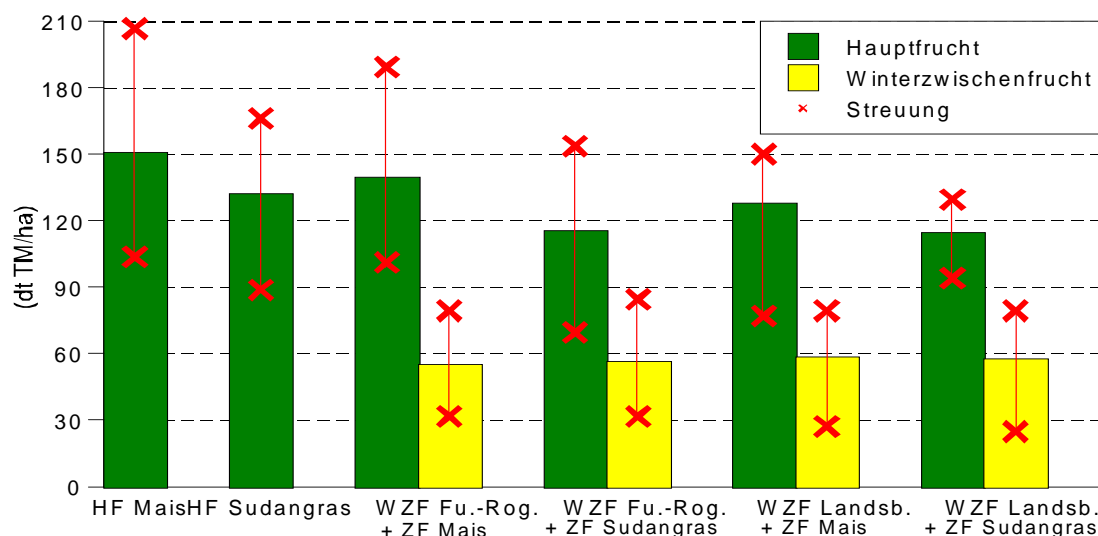


Bild 9: Erträge von Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung (Mittelwert von 3 Orten und 2 Jahren)

Welches System letztendlich zur Anwendung kommt, entscheidet der höhere Gewinn je Flächeneinheit.

In Gegenden mit einem hohen Tier-, vor allem Rinderbesatz bei gleichzeitig boomender Biogasbranche ist z. Z. eine Konkurrenz um die Fläche zu verzeichnen. Dies führt unter anderem zu hohen Pachtpreisen, die einen Anstieg der Erzeugerpreise zur Folge haben müssten. Gleichzeitig steigen weltweit die Getreidepreise. Die Grundfutterproduktion ist bei einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung der Pflanzenproduktion über die Grenzkosten frei „Maul Biogasanlage bzw. Futterkrippe“ mit der Getreideproduktion zu vergleichen. Bei einer durch das Institut für Energetik durchgeführten Betreiberbefragung wurden Preise von 23 bis 25 Euro/t Silage für das Jahr 2006 angegeben. Eigene Berechnungen kamen auf einen Vergleichspreis von 30 Euro/dt Maissilage bei einem Vergleichspreis von 10 Euro/dt Wintertriticalekorn (Ertrag 65 dt/ha). Steigt der Getreidepreis auf 13 bis 15 Euro/dt, muss der Silagepreis ebenfalls erheblich ansteigen (**Bild 10**).

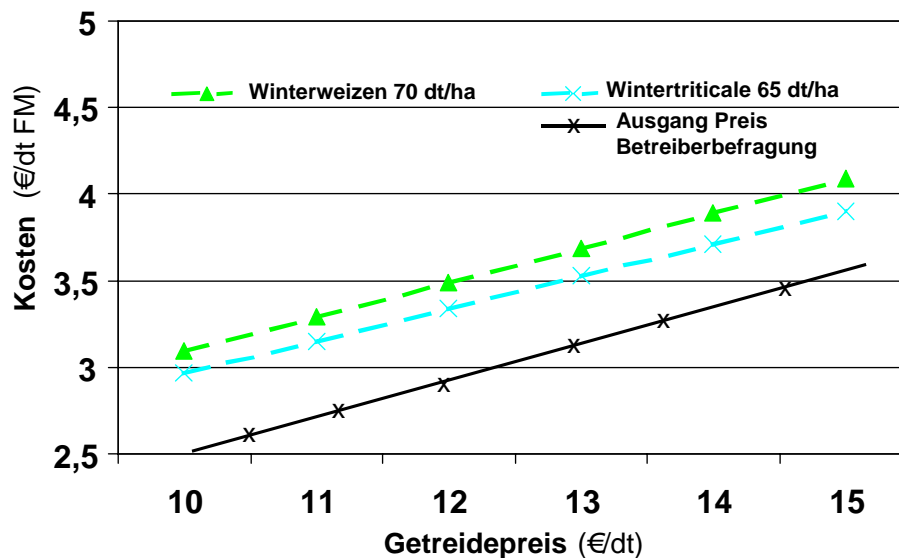


Bild 10: Kosten von Maissilage (mittlerer Ertrag 120 dt/ha)

Die in dem Bild dargestellten Preise von deutlich über 30 Euro/t Silage haben erhebliche Auswirkungen sowohl auf die Milch- als auch auf die Biogasproduktion. Nach Berechnungen von Reinhold sind diese hohen Rohstoffpreise bei Biogasanlagen nur mit KWK-Bonus, d.h. einer konsequenten Wärme- bzw. Kältenutzung realisierbar. Ein durch die Einführung von Energiemaissorten zukünftig prognostizierter Anstieg des Ertrages führt zu einer Kostendegression, wobei durch die bei Grobfutterprodukten zunehmenden Kosten für Transport und Silage die Stückkosten (Euro/t Silage) nicht in dem Maße fallen wie z. B. bei der Getreideproduktion.

Somit sind zwei Tendenzen bei der Biogasproduktion zu beachten, zum einen kommt es zu einer regionalen Konkurrenz um die Fläche, zum anderen wird durch diese Konkurrenz die Wirtschaftlichkeit sowohl der Tier- als auch der Biogasproduktion verschlechtert.

Die vorgestellten Fruchtarten und Anbausysteme für Energiepflanzen fügen sich relativ problemlos in das bekannte Produktionsregime ein. Bedeutend stärker ist der Eingriff in die Kulturlandschaft bei der Anlage von Agroforstsystemen. Dabei handelt es sich um den streifenweisen Anbau von Energieholz und traditionellen Feldkulturen (silvoarables System, **Bild 11**).

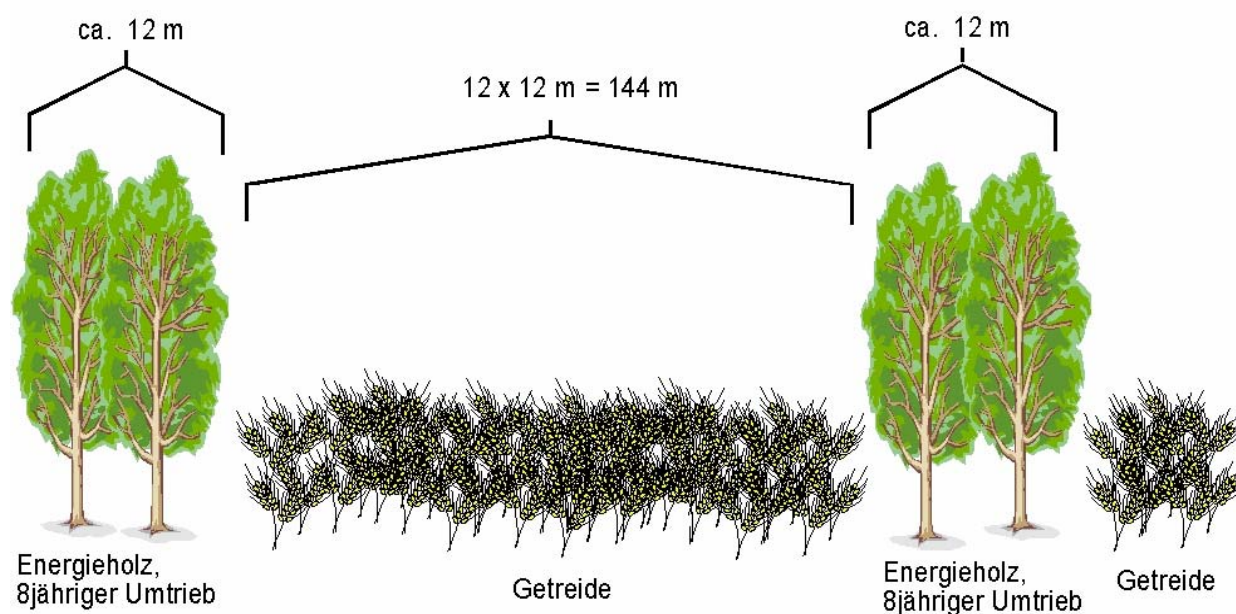


Bild 11: Schematische Darstellung eines Agroforstsystems mit Energieholz (silvoarables-System)

Die Gründe für und gegen derartige Systeme sind vielfältig. Als Gegenargument gelten vor allem die Verpächterproblematik und die langfristige Festlegung, damit nur eingeschränkte Reaktionsmöglichkeit auf agrarpolitische Maßnahmen. Dem stehen aber auch einige Vorteile gegenüber. Die sich abzeichnende Verknappung von Holzbrennstoffen führt zukünftig zu einer verstärkten Nachfrage an Energieholz. Preise von $> 75 \text{ €/t TM}$ sind als realistisch anzusehen. Neben Energieholzplantagen (Pappeln und Weiden) könnte in ausgeräumten Kulturlandschaften mit einem geringen Besatz an Strukturelementen der Anbau von Energieholz in silvoarablen Agroforstsystemen eine Möglichkeit der Energieholzproduktion darstellen. Aufforstungsprogramme bzw. die Anlage von Hecken (Biotopverbund) wurden von der Landwirtschaft nur in geringem Umfang angenommen. Dies ist vor allem darin begründet, dass zum einen der Status als landwirtschaftliche Nutzfläche verloren geht und zum anderen die Einkommenssituation im landwirtschaftlichen Betrieb sich verschlechtert. Agroforstsysteme vereinen somit Produktion von Food- und Non-Food auf der gleichen Fläche, stellen im Territorium nachgefragte Brennstoffe zur Verfügung, verhindern Wasser- und Winderosion, wirken im Sinne eines Biotopverbundes und bereichern das Landschaftsbild.

Die aufgeführten Wirkungen sind allerdings nur Theorie, da in Deutschland Agroforstsysteme mit Energiepflanzen in ihrer Wirkung bisher nicht großflächig erprobt wurden. Ergebnisse liegen nur von Hecken und Windschutzstreifen vor (**Bild 12**).

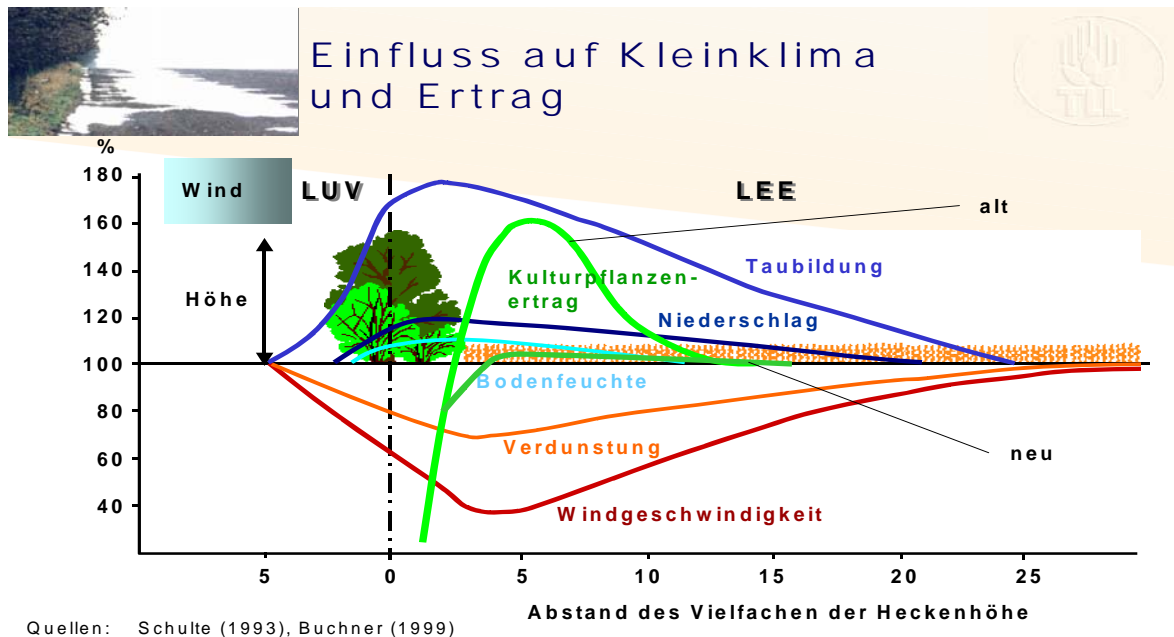


Bild 12: Wirkung einer Hecke auf die angrenzende Ackerfläche (SCHWABE 2005)

Die Integration derartiger Systeme in die Kulturlandschaft könnte Naturschutz (Biotopverbund), Erosionsschutz (Wind- und Wasser) und Produktion von Food- und Non-Food in der Fläche vereinen. Alle drei aufgeführten Zielstellungen sind einzeln behandelt in einem derartigen System sicher nicht optimal erfüllt, könnten aber in der Summe den bestmöglichen Kompromiss darstellen. Voraussetzung für eine breite Praxiseinführung ist allerdings die großflächige Erprobung und Demonstration mit wissenschaftlicher Begleitung.

Fazit

Die Nachfrage nach Biomasse steigt welt- und deutschlandweit an. Dies führt unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten zwangsläufig zu einem Preisanstieg für die Rohstoffe, unabhängig von ihrer späteren Verwertung im Food-, Feed- oder Non-Food-Sektor. Der Brennstoffsektor wird vorrangig über Nebenprodukte der Land- und Forstwirtschaft beliefert. Für die Produktion der Kraftstoffe der 1. Generation (Ethanol, Rapsölmethylester RME) kommt es zu einer Verschiebung des Anbauspektrums innerhalb der Marktfrüchte. Engpässe und Rohstoffüberhänge werden über den Handel ausgeglichen. Der Non-Food-Anbau sollte nicht 25 bis 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Nahrungssicherung) überschreiten. Bei der Bereitstellung von Rohstoffen mit hohem Transportwiderstand, dies betrifft gegenwärtig die Biogasproduktion und zukünftig eventuell die Produktion von BtL-Kraftstoffen, kann es zu regionalen Engpässen kommen. Begrenzende Faktoren aus naturwissenschaftlicher Sicht sind in Bezug auf die Ertrags- höhe die Wasserversorgung und in Abhängigkeit von der Verwertungsstrategie eine ausgeglichene Humusbilanz. Mit standortangepassten Anbausystemen für Energie-

pflanzen, die in den gesamten landwirtschaftlichen Produktionsprozess integriert werden, kann ein wesentlicher Beitrag zur nachhaltigen ökonomischen und ökologischen Landwirtschaft geleistet werden.

Literatur

FRITSCH U., et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, F & E-Vorhaben, Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Projektträger: FZ Jülich.

WEILAND P. (2006): Anforderungen an Pflanzen seitens des Biogasanlagenbetreibers, TLL-Jena, Eigenverlag, 12. Thüringer Bioenergietag, S. 26 – 32.

ZINKE O. (2007): Zwischen Euphorie und Skepsis, Neue Landwirtschaft 1, S. 89 – 91.

Umweltaspekte der Produktion und Nutzung von Energiepflanzen

Environmental aspects of the production and utilisation of energy plants

Guido A. Reinhardt, Julia Münch

IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wilckensstr. 3, 69120 Heidelberg

E-Mail: Guido.reinhardt@ifeu.de

Kurzfassung

Bereits zu Beginn der neunziger Jahre erschienen erste Ökobilanzen, die Bioenergieträger aus Energiepflanzen mit fossilen Energieträgern verglichen haben. Seitdem ist die Anzahl der untersuchten Bioenergieträger und der berücksichtigten Parameter kontinuierlich angestiegen; auch die Untersuchungsmethodik wurde verbessert. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über Ökobilanzen von Bioenergieträgern. Er basiert auf der Zusammenführung verschiedener Studien über die Produktion und die Verwendung von Bioenergieträgern in unterschiedlichen Anwendungsbereichen: in der Strom- und Wärmeproduktion wie auch im Transportsektor. Betrachtet werden alle, d. h. feste, flüssige und gasförmige, Bioenergieträger aus Energiepflanzen. Aus dem Vergleich mit ihren fossilen Pendanten, aber auch aus dem Vergleich untereinander, wird eine Fülle von Ergebnissen gewonnen, aus welchen Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Schlüsselwörter: Bioenergieträger, Ökobilanz, Nachwachsende Rohstoffe, Energiepflanzen, Treibhauseffekt

Einleitung

Bioenergieträger, wie der durch Umesterung von Rapsöl gewonnene Bioenergieträger RME oder auch Holzhackschnitzel, gelten allgemein als besonders umweltfreundlich, sind sie doch – zumindest auf den ersten Blick – CO₂-neutral und biologisch abbaubar, sparen fossile Rohstoffe ein und verursachen bei ihrer Verbrennung keine nennenswerten Schwefelemissionen. In Teilbereichen mag eine solche Charakterisierung durchaus zutreffen, so z. B. bei der direkten Verbrennung, bei der exakt nur die Menge an CO₂ freigesetzt wird, die der Atmosphäre durch den Anbau der energieliefernden Pflanzen entzogen wurde.

Betrachtet man allerdings den gesamten Lebensweg von Bioenergieträgern, von der Produktion der Biomasse über die Konversion bis hin zur energetischen Verwertung, so

sind die genannten Vorteile nicht unbedingt systemimmanent: Für die Produktion von Bioenergieträgern aus Anbaubiomasse - also aus eigens zum Zweck der Energieerzeugung angebaute Biomasse - werden Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie zum Teil erhebliche Mengen an fossilen Energieträgern für den eigentlichen landwirtschaftlichen Anbau verwendet. Dieser Einsatz fossiler Energien ist mit klimarelevanten Emissionen verbunden, womit nach Einbezug des gesamten Lebensweges die CO₂-Bilanz keineswegs mehr neutral ist. Durch den Fokus auf CO₂, das aufgrund seiner Klimawirksamkeit bilanziert wird, wird leicht vergessen, dass es nur ein klimarelevantes Gas unter mehreren ist. Es stellt sich daher die Frage, ob nicht durch das Auftreten anderer klimarelevanter Stoffe selbst eine an sich positive CO₂-Bilanz relativiert, ausgeglichen oder gar überkompensiert wird. Große Wirkung entfaltet hierbei vor allem das bei der Düngemittelproduktion und aus Agrarökosystemen entweichende Distickstoffoxid (N₂O), da es etwa 296 mal so klimawirksam ist wie CO₂. Dagegen wird Distickstoffoxid (N₂O) in der Prozesskette fossiler Energieträger nicht in nennenswerten Mengen freigesetzt.

Des Weiteren sind im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Anbaubiomasse für Bioenergieträger Umweltauswirkungen wie die Belastung der Grund- und Oberflächengewässer mit Bioziden und deren Abbauprodukten sowie die Belastung mit Nitraten und Phosphaten zu diskutieren, die mit der landwirtschaftlichen Produktion der Rohstoffe verbunden sind - zumal diese seitens der fossilen Energieträger nicht auftreten. Auch die Naturrauminanspruchnahme durch den Anbau von Biomasse in der Landwirtschaft ist kritisch zu betrachten. Sie muss jedoch unter den derzeitigen Verhältnissen der politisch unterstützten Flächenstilllegung beurteilt werden.

Wird also der gesamte Lebensweg untersucht, so können fossile Energieträger im Vergleich zu Bioenergieträgern in bestimmten Bereichen durchaus positive Umwelteffekte aufweisen.

Vorgehensweise

Die ökologischen Vor- oder Nachteile von Bioenergieträgern können nicht auf Anhieb aufgelistet und bewertet werden, sondern müssen sehr sorgfältig und unter Einbeziehung des gesamten Systems und nicht nur bestimmter Ausschnitte ermittelt werden. Dies kann mit so genannten Ökobilanzen, bei denen - zumindest vom theoretischen Ansatz her - die gesamte Bandbreite der Umweltverträglichkeit betrachtet wird, sachgerecht durchgeführt werden.

Wie bei Ökobilanzen allgemein üblich, werden die Bioenergieträger und ihre jeweiligen fossilen Pendanten über ihre gesamten Lebenswege hinweg bilanziert (ISO 14040, ISO 14044). **Bild 1** zeigt hierfür beispielhaft einen schematischen Lebenswegvergleich zwischen Ottokraftstoff und Bioethanol. Alle Zusatzstoffe und Nebenprodukte werden mit berücksichtigt. Letztere werden dem Kraftstoff in der Bilanz als Gutschriften über so genannte Äquivalenzprozessbilanzierungen angerechnet. Darüber hinaus werden auch landwirtschaftliche Referenzsysteme miteinbezogen. Wichtige Details hierzu wie Festlegungen, Systemgrenzen, Vorgehensweise etc. finden sich u. a. in folgenden Publikationen: JUNGK & REINHARDT (2000), BORKEN *et al.* (1999) und KALTSCHMITT & REINHARDT (1997).

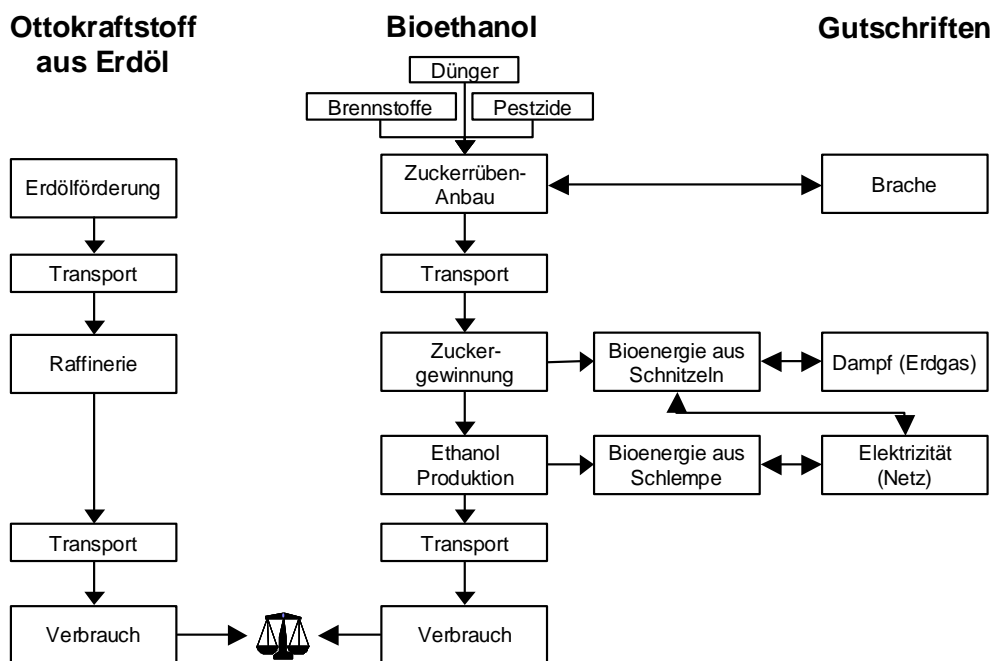


Bild 1: Schematischer Lebenswegvergleich von "Bioethanol aus Zuckerrüben mit Ottokraftstoff" (optimale Bedingungen)

Einige der in den letzten 15 Jahren entstandenen Ökobilanzen, in denen Bioenergieträger mit fossilen Energieträgern verglichen wurden, werden hier zusammengefasst (u. a. IFEU 2004, ÖKO-INSTITUT *et al.* 2003). Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, dass die erhaltenen Ergebnisse miteinander vergleichbar sind, d. h., dass die zugrunde gelegten Annahmen wie Bezugsjahr und Systemgrenzen zueinander passen. Im Einzelnen werden die Umweltauswirkungen verschiedener Bioenergieträger mit ihren fossilen Pendanten, aber auch untereinander, verglichen (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Beispiele verschiedener Bioenergieträger aus Anbaubiomasse mit ihren jeweiligen fossilen Pendanten

Bioenergieträger	Fossiler Energieträger
Weizen	Heizöl EL in Heizwerk
Miscanthus	Heizöl EL in Heizwerk
Pappel	Heizöl EL in Heizwerk
Knautgras	Heizöl EL in Heizwerk
Biogas (Silomais)	Heizöl EL in Heizwerk
ETBE aus Zuckerrüben	MTBE als Additiv in Benzin
ETBE aus Kartoffeln	MTBE als Additiv in Benzin
ETBE aus Weizen	MTBE als Additiv in Benzin
Ethanol aus Zuckerrüben	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
Ethanol aus Kartoffeln	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
Ethanol aus Weizen	Ottokraftstoff (E5 / E100 – PKW)
Rapsölmethylester (RME)	Diesel (PKW / LKW)
Sonnenblumenölmethylester (SME)	Diesel (PKW / LKW)
Rapsöl	Diesel (PKW / LKW)
Biomethanol	Ottokraftstoff (M5 / M10 – PKW)
Bio-DME	Diesel (PKW / LKW)

MTBE: Methyltertiärbuthylether, DME: Dimethylether, E5 / M5: Zumischung des Biokraftstoffs zum fossilen Kraftstoff (5 Volumenprozent). M10: 10 Volumenprozent. E100: Reinkraftstoff. Bei Ethanol aus Zuckerrüben wurde auch eine Variante "Optimum" unter optimierter Energienutzung untersucht.

Entsprechend der Vorgehensweise bei Ökobilanzen werden in einem ersten Bilanzierungsschritt zunächst alle Umweltauswirkungen auf der Basis einzelner Parameter wie CO₂-Emissionen im Rahmen einer Sachbilanz ermittelt und in der so genannten Wirkungsabschätzung weiterverarbeitet. Bei diesem Schritt wird die Vielzahl der einzelnen untersuchten Parameter in Umweltwirkungskategorien wie z. B. "Ressourcenverbrauch", "Treibhauseffekt", "Versauerung", "Eutrophierung" oder auch "Photosmog" zusammengefasst. **Tabelle 2** zeigt beispielhaft für Ethanol aus Zuckerrüben das Ergebnis der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung. Daran schließt sich die Interpretation bzw. Bewertung der Ergebnisse an.

Tabelle 2: Ergebnisse der Ökobilanz für Ethanol aus Zuckerrüben verglichen mit Ottokraftstoff bezüglich der betrachteten Sachbilanz- und Wirkungsabschätzungs-Parameter (Quelle: REINHARDT & QUIRIN 2004, REINHARDT & ZEMANEK 2000)

Sachbilanz Parameter	Einheit	Zucker- rübe		Wirkungskategorie Parameter	Einheit	Zucker- rübe	
		Standard	Optimum			Standard	Optimum
	je ha*a ¹⁾				je ha*a ¹⁾		
Erdgas	MJ	1.885	-643	Energiebedarf ²⁾			
Steinkohle	MJ	-3.456	-2.237	(CED)	GJ	-88	-124
Braunkohle	MJ	-4.407	-3.228				
Uranerz	MJ	-4.393	-3.175	Treibhauseffekt			
Wasser	MJ	-545	-380	(CO ₂ -Äquivalente)	kg	-5.442	-7.332
Kalk	kg	45	81				
Rohphosphat	kg	126	228	Versauerung			
Schwefel	kg	8	15	(SO ₂ -Äquivalente)	kg	13	32
Kalium	kg	811	1.475				
Natriumchlorid	kg	0	0	Eutrophierung			
Tonminerale	kg	0	0	(PO ₄ -Äquivalente)	kg	2	5
CO ₂ (fossil)	kg	-6.303	-9.029				
CH ₄	kg	-1	-2	Phptpsmog			
SO ₂	kg	2	4	(C ₂ H ₄ -Äquivalente)	kg	-2	-1
NO _x	kg	5	22				
HCl	g	-10	131				
NH ₃	kg	4	7				
CO	kg	2	6				
NMHC	g	-3.624	-3.352				
Diesel Rußpartikel	g	0	0				
Staub	g	-362	761				
Formaldshyd	g	29	70				
Benzen	g	-30	17				
Ben- zo(a)pyrene	mg	2	1				
TCDD-Äq.	ng	-394	-21				
N ₂ O	kg	3	6				

¹⁾ Die Einheit "ha*a" zeigt an wie viel Energie und Emissionen eingespart oder zusätzlich verbraucht/emittiert wird/werden, wenn die je Hektar und Jahr produzierte Ethanolmenge die entsprechende Menge Kraftstoff in einem Fahrzeugmotor ersetzt; positive Zahlen bedeuten ein günstiges Ergebnis für den fossilen Kraftstoff, negative Zahlen ein günstiges Ergebnis für Bioethanol.

²⁾ Rohöl, Erdgas, Uranerz, Steinkohle und Braunkohle

Die Ergebnisse der Parameter "Energiebedarf" und "Treibhauseffekt" fallen in der Ökobilanz für Ethanol aus Zuckerrüben verglichen mit Ottokraftstoff zugunsten des Biokraftstoffs aus, wogegen die Ergebnisse der meisten anderen Parameter zugunsten des fossilen Kraftstoffs ausfallen.

Entsprechend dieser Vorgehensweise wurde auch bei der Bilanzierung der übrigen Bioenergieträger verfahren. Ergebnisse wurden für die Umweltwirkungskategorien „Energiebedarf“, „Treibhauseffekt“, „Ozonabbau“, „Versauerung“, „Eutrophierung“ und „Photosmog“ betrachtet.

Ergebnisse

Wie bereits angemerkt, ergeben sich vor allem zwei Fragestellungen für die Diskussion der Gesamteinschätzung von Energieträgern: Zum einen werden die Bioenergieträger im Vergleich mit ihren fossilen Pendanten betrachtet, zum anderen werden die Bioenergieträger untereinander verglichen.

Bioenergieträger im Vergleich mit fossilen Energieträgern

Bild 2 zeigt die quantitativen Ergebnisse für den Vergleich „Biodiesel aus Raps (RME) versus Dieselkraftstoff“ für einige ausgewählte Umweltwirkungen, während in **Tabelle 3** ein qualitativer Überblick über alle Umweltvor- und -nachteile aufgelistet ist. Auch hier zeigt sich, dass Biodiesel bezüglich der Parameter "Energiebedarf" und "Treibhauseffekt" Vorteile aufweist, fossiler Dieselkraftstoff dagegen oft vorteilhaft bei den übrigen untersuchten Parametern abschneidet. Analog verhält es sich mit den meisten anderen Bioenergieträgern.

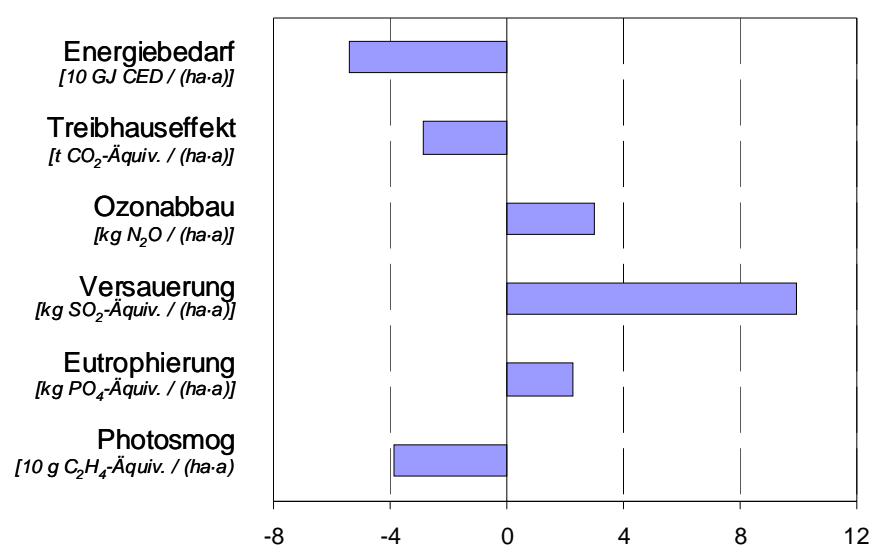


Bild 2: Ökologische Vor- und Nachteile von RME verglichen mit fossilem Dieselkraftstoff. Negative Werte bedeuten Vorteile für RME (Quelle: GÄRTNER & REINHARDT 2003)

Tabelle 3: Vor- und Nachteile von RME gegenüber fossilem Dieselkraftstoff

	Vorteile für RME	Nachteile für RME
Ressourcenverbrauch	Einsparung erschöpflicher Energieträger	Verbrauch mineralischer Ressourcen
Treibhauseffekt	geringere Klimagasemissionen	
Ozonabbau		höhere N ₂ O-Emissionen
Versauerung		höhere Versauerungswirkung
Eutrophierung		höhere Eutrophierung Risiko: Phosphateintrag in Gewässer
Human- und Ökotoxizität	geringere SO ₂ -Emissionen geringere Partikelemissionen in Innenstädten geringere Rohöleinträge in Meere durch Förderung und Transport von Rohöl Risiko: geringere Rohöleinträge durch Tanker-unfälle Risiko: geringere Toxizität / höhere (Bio)Abbaubarkeit	Risiko: Gewässerbelastung durch Biozide Risiko: Grundwasserbelastung durch Nitrat

Dass in allen Fällen Umweltvorteile sowie Umweltnachteile auftreten bedeutet, dass eine wissenschaftlich objektive Entscheidung für oder gegen den einen oder anderen Bioenergieträger oder fossilen Energieträger nicht getroffen werden kann. Aus diesem Grund muss die Gesamteinschätzung letztendlich auf ein subjektives Wertesystem zurückgreifen. Sollte beispielsweise in einer abschließenden Einschätzung der Schonung fossiler Ressourcen und der Verminderung des Treibhauseffektes die höchsten Prioritäten eingeräumt werden, wäre eine Einschätzung zugunsten der Bioenergieträger gerechtfertigt.

Bioenergieträger untereinander

Bei einem Vergleich der Bioenergieträger untereinander, stellt sich die Frage nach der Bezugsgröße. Da in Deutschland wie auch in Europa die Verfügbarkeit der landwirtschaftlichen Nutzfläche den am stärksten limitierenden Faktor für die Produktion von Bioenergieträgern aus Anbaubiomasse darstellt, wurde als Bezugsgröße für alle Ergebnisse der Bioenergieträger im Vergleich mit den fossilen Energieträgern das Flächenmaß Hektar gewählt.

In den **Bildern 3 bis 5** sind diese Ergebnisse zusammengestellt. Positive Werte bedeuten Vorteile für fossile Energieträger, negative Werte hingegen bedeuten Vorteile für Bioenergieträger.

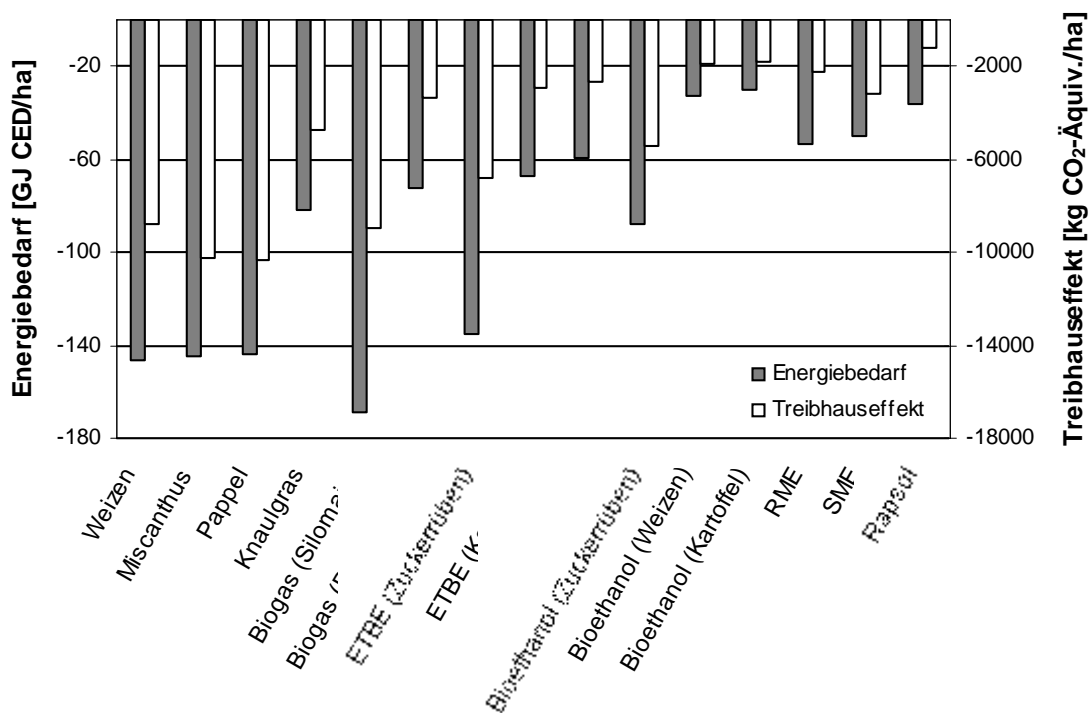


Bild 3: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Bioenergieträger aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Energieträgern für die Parameter Ressourcenbedarf erschöpflicher Energieträger (MJ Primärenergie/ha) und Treibhauseffekt (kg CO₂-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für Bioenergieträger

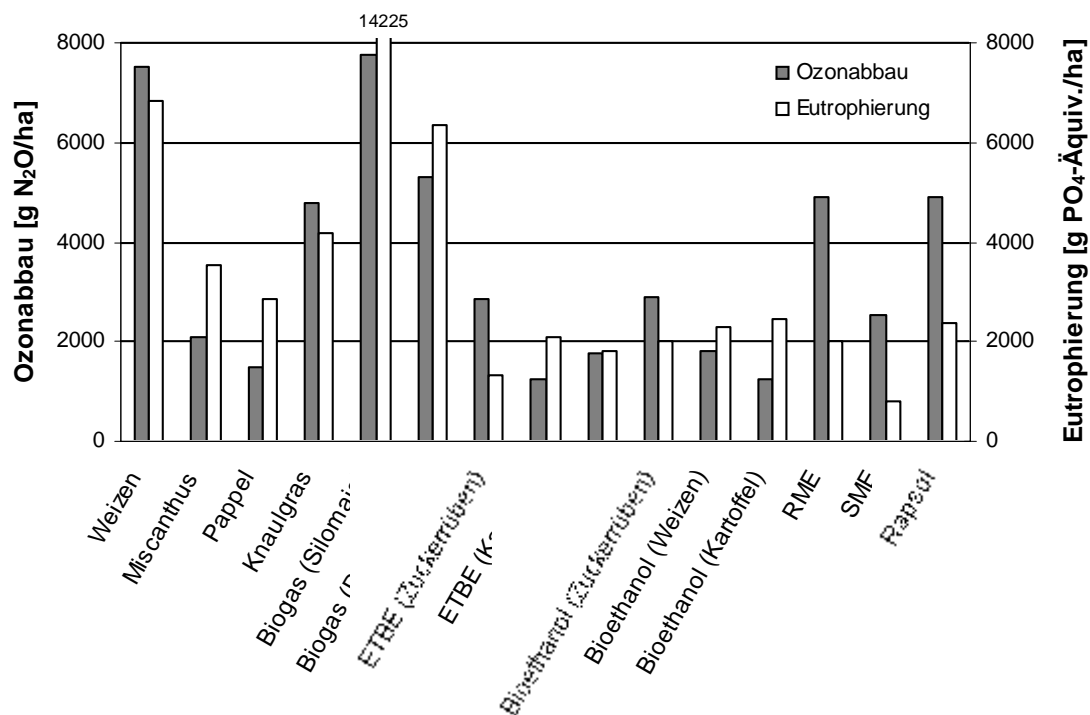


Bild 4: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Bioenergieträger aus Anbaubiomasse verglichen mit entsprechenden fossilen Energieträgern für die Parameter Ozonabbau (g N₂O/ha) und Eutrophierung (g PO₄-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für Bioenergieträger

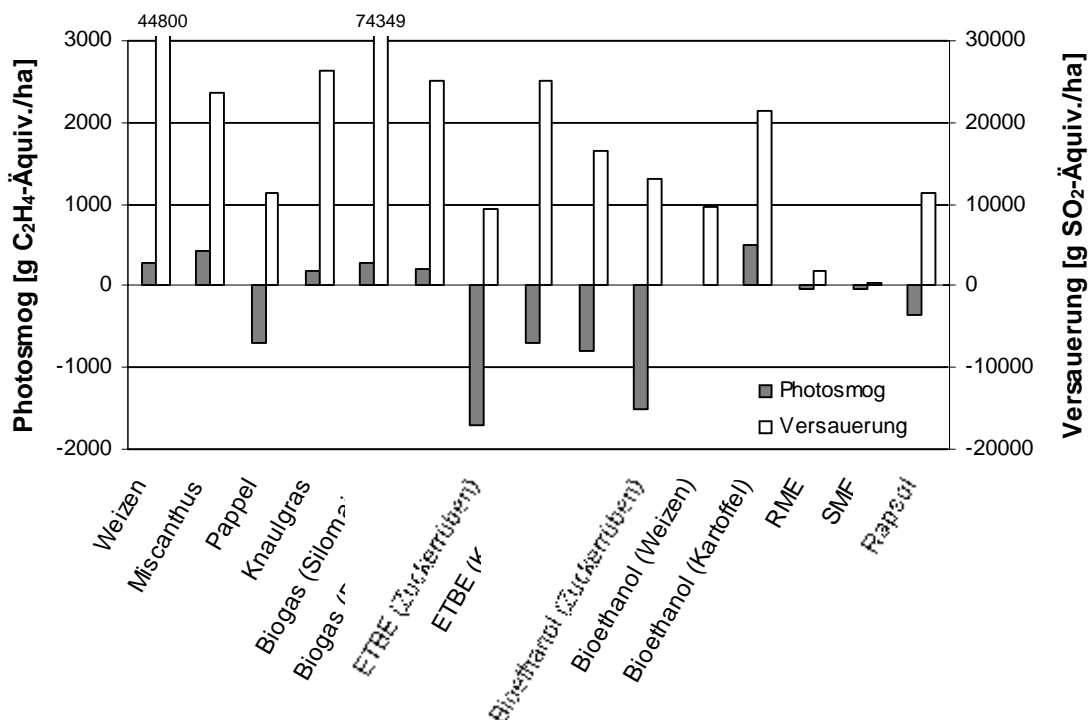


Bild 5: Ökologische Vor- und Nachteile aller betrachteten Bioenergieträger aus Anbaubiomasse verglichen mit den entsprechenden fossilen Energieträgern für die Parameter Photosmog (g C₂H₄-Äquivalente/ha) und Versauerung (g SO₂-Äquivalente/ha). Negative Werte bedeuten Vorteile für Bioenergieträger.

Ähnlich wie beim Vergleich von Bioenergieträgern zu fossilen Energieträgern, zeigt sich auch beim Vergleich der Bioenergieträger untereinander, dass einige sowohl ökologische Vorteile wie auch Nachteile aufweisen und so eine Entscheidung für oder gegen den einen oder anderen Bioenergieträger auf objektiver Basis in den meisten Fällen nicht möglich ist. Es zeigen sich aber auch eindeutige Ergebnisse: Beispielsweise erweist sich die Pappel im Vergleich zu den anderen Bioenergieträgern sehr vorteilhaft in punkto Energieeffizienz und der Einsparung von Treibhausgasen. Gleichzeitig sind ihre Umweltbelastungen in den Kategorien Ozonabbau, Eutrophierung, Photosmog und Versauerung relativ gering. Dagegen ist die Verwendung von Weizen als Bioenergieträger zwar ebenfalls günstig im Hinblick auf Energieeffizienz und Treibhauseffekt, allerdings wirkt sich eine solche Nutzung äußerst ungünstig auf die Ozonschicht aus und trägt stark zur Versauerung der Böden bei.

Bezüglich der festen Bioenergieträger zeigt sich, dass Kurzumtriebshölzer im Vergleich zu perennierenden Gräsern ökologische Vorteile besitzen. Um die größten ökologischen Vorteile zu erhalten, sollte zuerst Kohle und an zweiter Stelle Heizöl durch feste Bioenergieträger ersetzt werden. Als gasförmiger Energieträger weist Biogas aus Silomais Vorteile bezüglich der Parameter „Energiebedarf“ und „Treibhauseffekt“ auf, während es sich in den übrigen Umweltwirkungskategorien als äußerst nachteilig erweist.

Innerhalb der flüssigen Bioenergieträger (vgl. auch **Bild 6**) zeigen z. B. Palmöl aus Plantagen auf tropischen Brachen, die ETBE, Ethanol aus Zuckerrüben und die Kraftstoffe der zweiten Generation sowie Ethanol bzw. BTL aus Lignozellulose die größten ökologischen Potenziale.

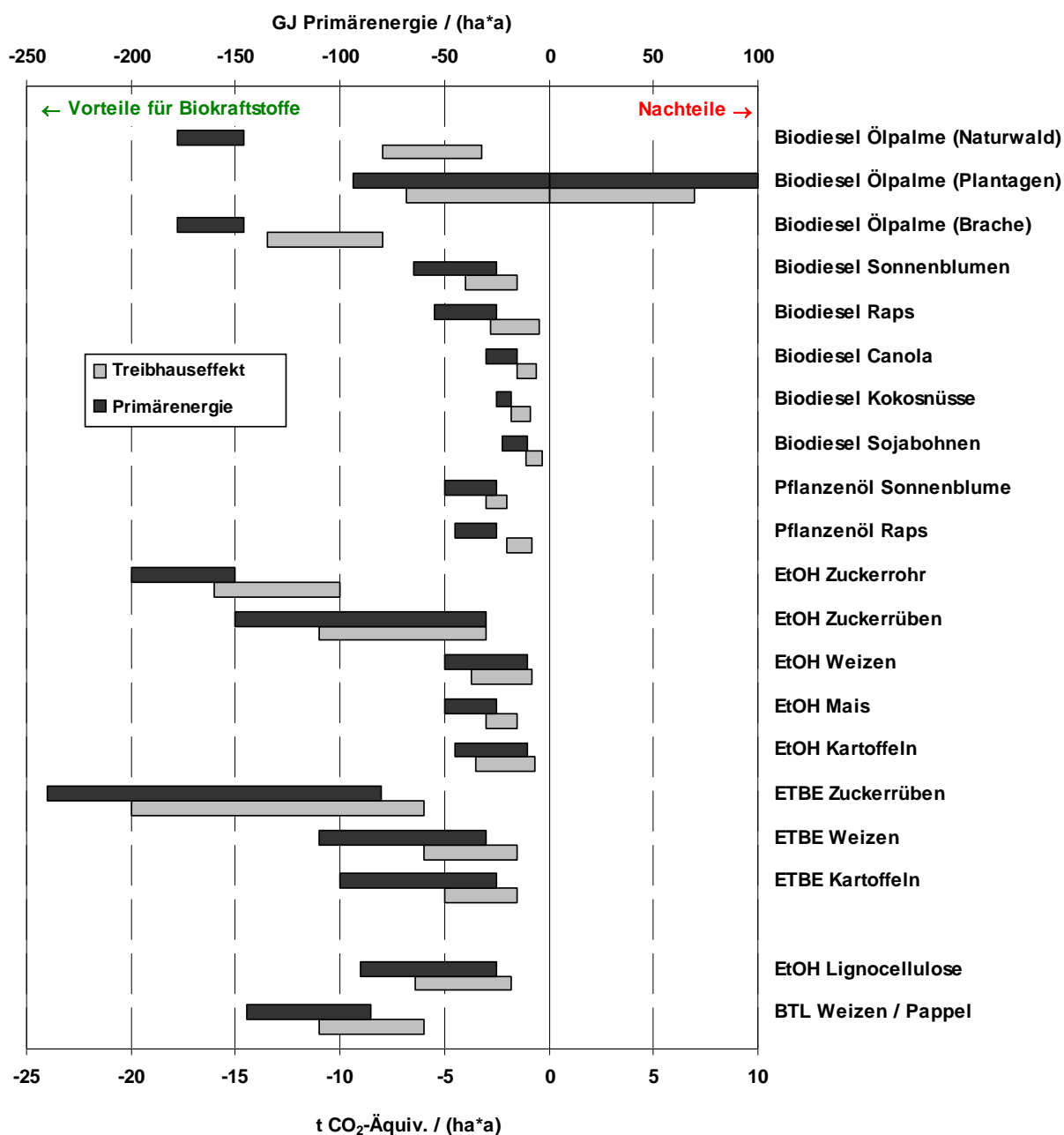


Bild 6: Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanzen von ausgewählten Biokraftstoffen im Vergleich zu ihren fossilen Kraftstoffpendants in GJ Primärenergie / ha*a bzw. t CO₂-Äquivalente / ha. Negative Werte bedeuten Vorteile für die Bioenergieträger (Quelle: WWF 2007, IFEU 2006, IFEU 2004)

Schlussfolgerungen und Ausblick

- Für eine Reihe von Bioenergieträgern aus Energiepflanzen liegen aussagekräftige Ökobilanzen vor, so dass für den Entscheidungsträger in vielen Bereichen genügend Informationen über die ökologischen Vor- und Nachteile zur Verfügung stehen. Im Einzelfall ist allerdings meist eine letztendlich subjektive Bewertung zu treffen, da kein Bioenergieträger hinsichtlich seiner Umweltwirkung nur Vorteile aufweist. Die subjektive Gewichtung der Umweltwirkungskategorien bestimmt somit die Entscheidung für oder gegen einen bestimmten Bioenergieträger.
- Es zeigt sich also, dass die Ökobilanz ein geeignetes Instrument darstellt, die ökologischen Auswirkungen der Bioenergieträger zu beschreiben. Zusätzlich kann die Ökobilanz auch helfen, mittels Schwachstellen- und Sensitivitätsanalysen die Lebenswege der Bioenergieträger hinsichtlich ihrer positiven Umweltwirkungen zu optimieren bzw. die negativen Implikationen zu minimieren.
- Für eine umfassende ökologische Bewertung ist gegebenenfalls zusätzlich das Umweltinstrument der UVP (Umweltverträglichkeitsprüfung) anzuwenden, wenn örtliche oder regionale Belange von besonderer Bedeutung sind.

Literatur

- BORKEN J., PATYK A., REINHARDT G.A. (1999):** Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz von Nutzfahrzeugen für Transporte, Landwirtschaft und Bergbau. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden.
- GÄRTNER S.O., REINHARDT G.A. (2003):** Aktualisierung und Erweiterung der Ökobilanz RME. Im Auftrag der UFOP, Berlin.
- IFEU (2006):** Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Gesamteinschätzung. Projektträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, FKZ 2207104.
- IFEU (2004):** CO₂-neutrale Wege zukünftiger Mobilität durch Biokraftstoffe: Eine Bestandsaufnahme. Im Auftrag der Forschungsvereinigung für Verbrennungskraftmaschinen (FVV), Frankfurt.
- ISO 14044 (2006):** Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Beuth-Verlag, Berlin.
- ISO 14040 (1999):** Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth-Verlag, Berlin.
- JUNGK N., REINHARDT G.A. (2000):** Landwirtschaftliche Referenzsysteme in ökologischen Bilanzierungen: Eine Basisanalyse. Abschlussbericht. Im Auftrag des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, FKZ 99NR009.
- KALTSCHMITT M., REINHARDT G.A. (eds.) (1997):** Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg Verlag, Braunschweig / Wiesbaden.
- ÖKO-INSTITUT et al. (2003):** Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Eine Zusammenarbeit von Ökoinstitut (Koordinator), IFEU, FhG Umsicht, IE, IZES, TU Braunschweig u. WZW. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

REINHARDT G.A., QUIRIN M. (2004): Ökobilanz Biokraftstoffe: Aktueller Stand. Teil I: Biokraftstoffe im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen, Erneuerbare Energien, Ausgabe 1, 59-61.

REINHARDT G.A., ZEMANEK G. (2000): Ökobilanz Bioenergieträger. Bewertung von Lebenswegvergleichen "Bioenergieträger versus fossilen Energieträgern". Erich Schmidt Verlag, Berlin.

WWF DEUTSCHLAND (2007): Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl. Unter Mitwirkung von IFEU, Heidelberg u. WI, Wuppertal.

Kosten der Energiepflanzenbereitstellung

Costs of energy crops supply

Helmut Döhler, Stefan Hartmann, Henning Eckel
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
E-Mail: h.doehler@ktbl.de

Kurzfassung

Die Rohstoffkosten machen in NawaRo-Biogasanlagen 50 bis 60 % der Gesamtkosten aus. Daher sind niedrige Rohstoffkosten ein wichtiges Erfolgskriterium für eine ökonomisch erfolgreiche Biogasproduktion. Die Produktionstechnik für die Bereitstellung von Biogaspflanzen ist hoch entwickelt und weitgehend kostenoptimiert. Hohe Transportkosten können durch eine dezentrale Energieerzeugung (und Verwertung der Gärreste) verhindert werden. Bei der Analyse der verschiedenen für die Nutzung als Gärsubstrat geeigneten Kulturen wird klar, dass es für die meisten Regionen Deutschlands derzeit kaum Alternativen zum Silomais gibt. Entwicklungsbedarf besteht für vielfältigere Fruchtfolgen mit ähnlich hohen und höheren Methanhektarerträgen wie Silomais.

Schlüsselwörter: Energiepflanzen, Biogas, Gärsubstrate, Bereitstellungskosten

Einleitung

Politische Rahmenbedingungen begünstigen die Wirtschaftlichkeit der Energieproduktion aus dafür angebauten Pflanzen und bieten der Landwirtschaft somit eine Alternative zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Für eine wirtschaftliche Energieerzeugung ist sowohl für den Rohstoffproduzenten als auch für den Rohstoffabnehmer und Energieproduzenten eine genaue Kalkulation der Kosten von großer Bedeutung. Nur bei genauer Kenntnis der Kosten und einer damit einhergehenden fairen Preisgestaltung kann eine langfristige Versorgungssicherheit gewährleistet werden. Für die Wahl der richtigen Rohstoffe ist es wichtig, die Kosten der verschiedenen potentiell nutzbaren Energiepflanzen zu kennen. Im Folgenden werden die Bereitstellungskosten für einige Energiepflanzen zur Erzeugung von Biogas näher erläutert.

Bereitstellungskosten für Gärsubstrate

Neben niedrigen Investitionskosten und guten Vermarktungschancen für die entstehende Abwärme ist die Verfügbarkeit kostengünstiger Gärsubstrate eines der wichtigsten Erfolgskriterien für eine ökonomische Energieerzeugung aus Biogas.

Bild 1 zeigt die Kosten der Bereitstellung verschiedener Gärsubstrate nach den Positionen Anbau, Ernte, Lagerung und Transport zur Biogasanlage dargestellt. Bei allen Produktionsverfahren wurde eine Schlaggröße von 20 ha, eine Leitmechanisierung von 120 kW sowie eine Hof-Feld- bzw. Feld-Biogasanlagen-Entfernung von 4 km angenommen. Neben den Direkt- und Arbeiterledigungskosten werden die Flächennutzungskosten sowie anteilige Gemeinkosten berücksichtigt.

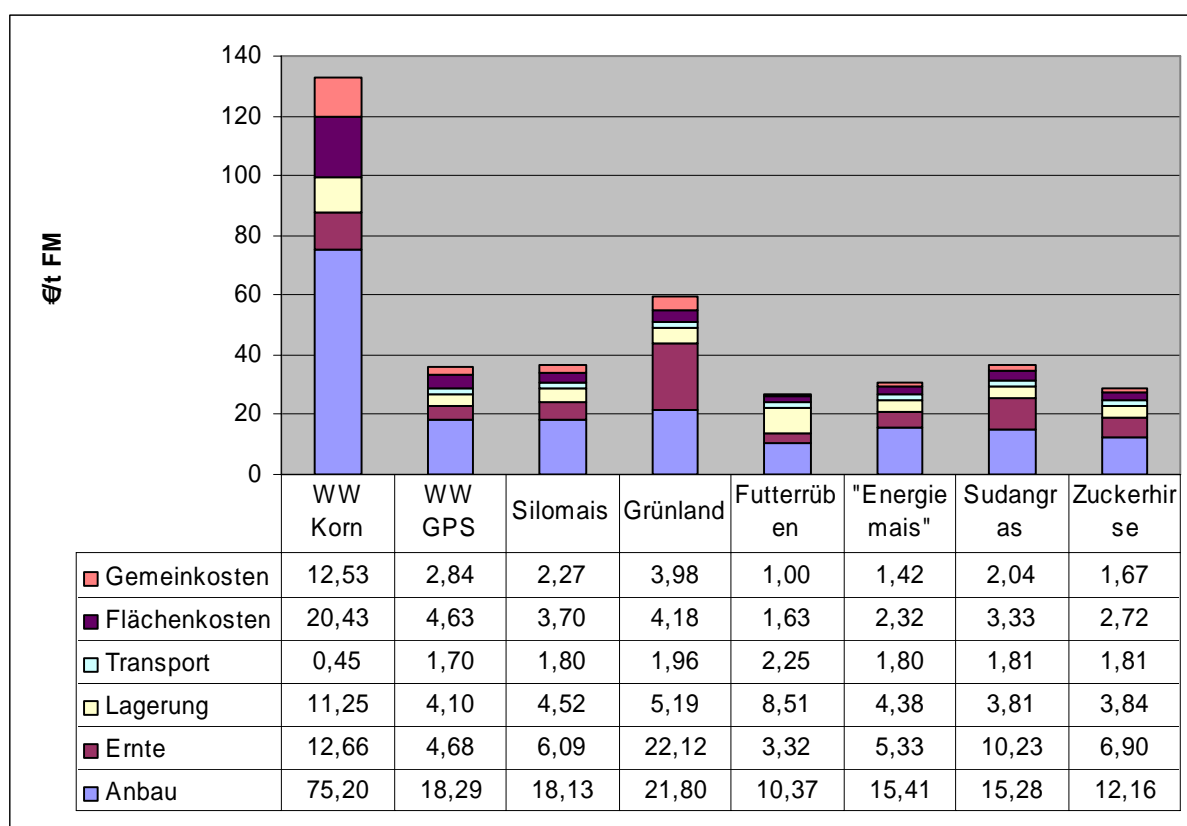


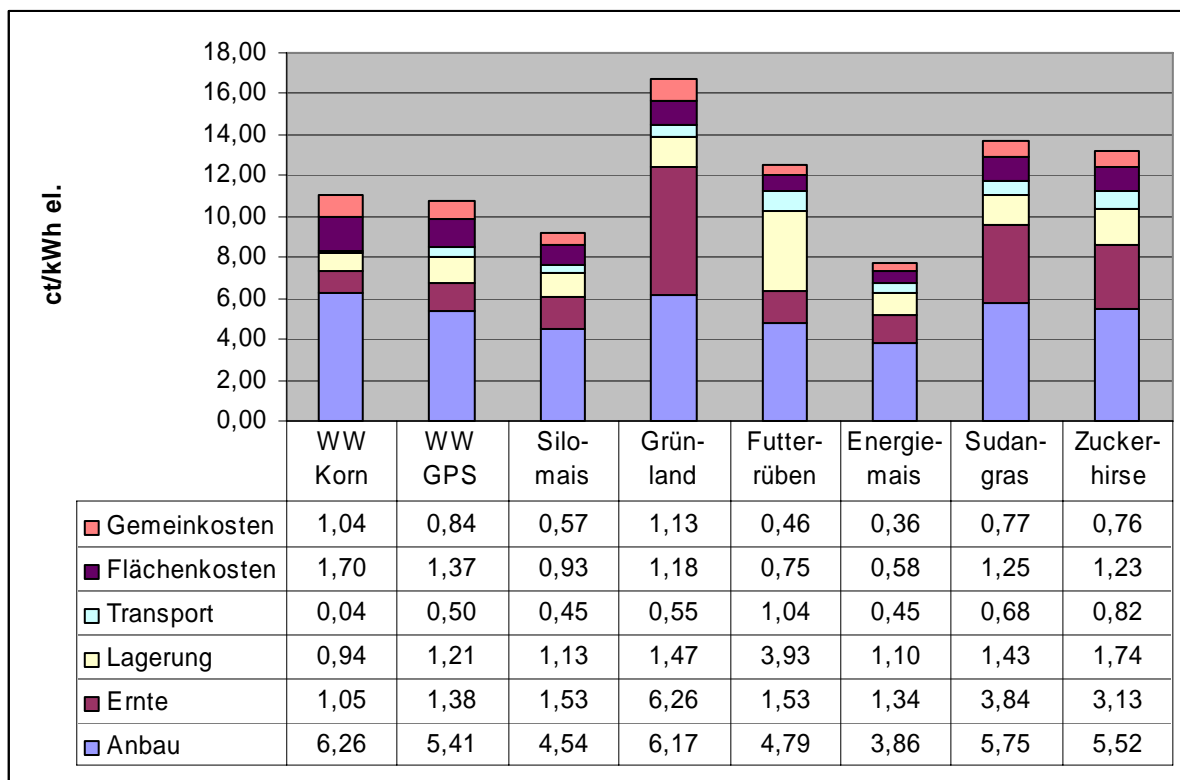
Bild 1: Bereitstellungskosten für Biogassubstrate in €/t FM

Aussagekräftig werden diese Zahlen jedoch erst, wenn man die Trockenmassegehalte (TM) und spezifischen Gaserträge der verschiedenen Kulturen bei der Berechnung berücksichtigt. **Tabelle 1** zeigt diese Werte für die jeweiligen Kulturen.

Tabelle 1: TM-Gehalt, Gasertrag und Methangehalt verschiedener Gärsubstrate

	WW Korn	WW GPS	Silo-mais	Grün-land	Futter-rüben	Energie-mais	Sudan-gras	Zucker-hirse
TM-Gehalt (%)	87	35	35	35	18	35	27	22
- davon oTM	98	94	96	88	90	96	91	91
Gasertrag (Nm ³ /t oTM)	700	520	600	560	684	600	520	538
Methangehalt (%)	53	52	52	54	51	52	55	54

Unter Berücksichtigung dieser Daten sowie unter Annahme eines elektrischen Wirkungsgrades von 38 % können die Substratbereitstellungskosten in Cent pro kWh elektrischer Strom ausgewiesen werden.

**Bild 2:** Bereitstellungskosten für Biogassubstrate in Ct/kWh_{el} (BHKW-Wirkungsgrad: 38 %)

Wie auch die Praxis zeigt, ist derzeit der Silomais das am günstigsten zu erzeugende Biogassubstrat. Verwirklichen sich die prognostizierten Züchtungsfortschritte, wird sich dieser Trend noch verdeutlichen. Für die Berechnung des „Energimais“ wurde ein - bislang noch fiktiver - Ertrag von 80 t/ha (28 t TM/ha) unterstellt.

Sehr kostenintensiv ist die Bereitstellung von Grassilage vom Grünland. Durch 3 bis 4 Erntetermine mit jeweils geringen TM-Erträgen sind hier besonders die hohen Erntekosten für die hohen Gesamtkosten verantwortlich.

Futterrüben erzielen einen sehr hohen Biomasse- und Methanhektarertrag. Für eine ganzjährige Bereitstellung als Gärsubstrat stehen allerdings keine kostengünstigen Lager- und Konservierungsverfahren zur Verfügung. Die Möglichkeit Futterrüben zu musen und als Flüssigsilage in gasdichten Hochsilos zu konservieren, konnte sich aufgrund der zu hohen Kosten in der Praxis nicht durchsetzen.

Auch der Anbau von Sudangras und Zuckerhirse stellt gegenwärtig noch keine Alternative zu Silomais dar. Diese Kulturen bringen zwar hohe Biomasseerträge, liegen aber bei den spezifischen Gaserträgen deutlich hinter dem Silomais. Hierzu muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Anpassung dieser Kulturen an den Standort Deutschland durch entsprechende Züchtung noch am Anfang steht. Perspektiven ergeben sich derzeit für sehr niederschlagsarme Regionen, dort deuten sich leichte Vorteile für Sudangras und Zuckerhirse an.

Eine ökonomische Alternative mit geringfügig höheren Kosten als Silomais stellt die Nutzung von Getreide als Ganzpflanzensilage bzw. als Korn dar.

Kostenstruktur der Biomassebereitstellung am Beispiel Mais

Die gesamte Bereitstellungslinie von Mais berücksichtigend (Anbau bis Anlieferung frei Siloplatte) machen die Kosten für den Anbau zusammen mit Flächen und Gemeinkosten mehr als drei Viertel der Produktionskosten aus. Das verbleibende Viertel entfällt auf die Ernteprozesse Häckseln (FA), Transport (TR) und Festfahren (FF) im Silo. Bereits bei einer Distanz von 4 km zwischen Feld und Biogasanlage macht der Transport mehr als 40 % der Erntekosten aus.

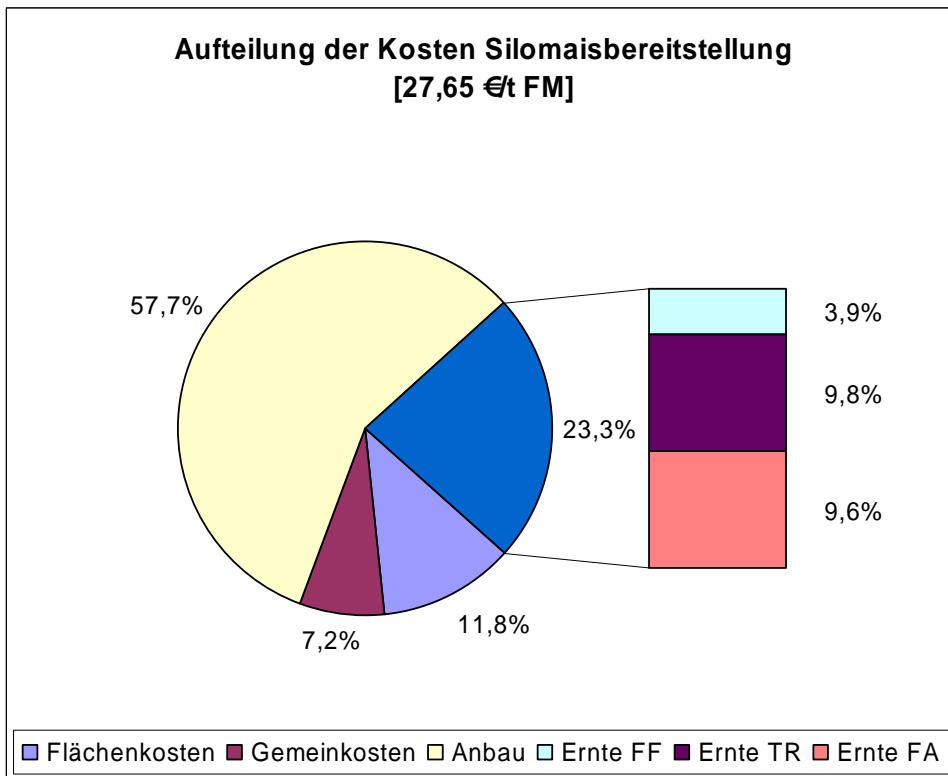


Bild 3: Kostenstruktur der Bereitstellung von Silomais frei Siloplatte (Leitschlepper 120 kW, 6-reihiger Häcksler 250 kW)

Weitere Entfernungen führen zu deutlich höheren Transportkosten. **Tabelle 2** zeigt die Kosten, den Arbeitszeitaufwand und die Anzahl der Transporteinheiten, die für einen unterbrechungsfreien Einsatz der Erntemaschine notwendig sind in Abhängigkeit von der Transportentfernung.

Tabelle 2: Transportkosten in Abhängigkeit der Transportentfernung

Verfahren	Transportentfernung	Anzahl Transporteinheiten	Arbeitszeitbedarf	Transportkosten
	km		AKh/ha	€/t
Silomais 50 t/ha; Ernte mit Feldhäcksler, 300 kW Transport Häckselgutwagen 40 m ³	2	4	2,34	2,02
	4	5	3,07	2,55
	6	7	4,51	3,28
	10	9	6,46	4,46
	20	14	13,96	8,21

Einfluss von Mechanisierungsgrößen auf die Biomassekosten

Besonders durch das massenintensive Ernteverfahren bei der Produktion von Silomais wirken sich die Größe der Maschinenausstattung und deren Auslastung stark auf die Arbeitserledigungskosten aus. Die Entwicklung von schlagkräftigen Erntemaschinen und großvolumigen Transporteinheiten hat in den letzten Jahren bereits zu einer deutlichen Senkung von Zeitaufwand und spezifischen Maschinenkosten geführt. Die Arbeitserledigungskosten konnten so um mehr als 30 % gesenkt werden (**Bild 4**). Nicht sicher ist, ob dieser Trend fortgesetzt werden kann, weil vor allem Begrenzungen beim Transport (StVO) und die hohen Radlasten der Erntemaschinen begrenzend wirken oder wirken werden. Der hohe Investitionsaufwand für diese Technik führt dazu, dass die Ernte in den meisten Fällen überbetrieblich durchgeführt wird, um den Kostenvorteil auch in Regionen mit klein strukturierter Landwirtschaft nutzbar zu machen.

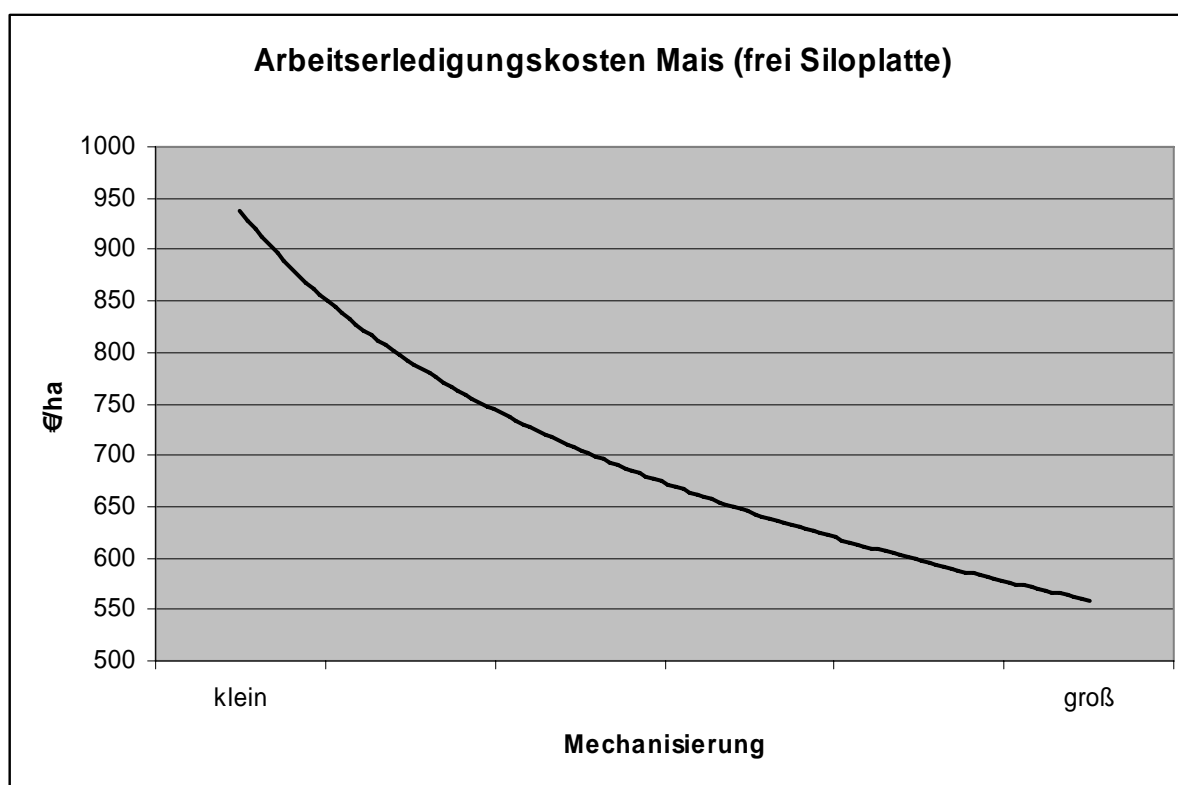


Bild 4: Arbeitserledigungskosten von Silomais (frei Siloplatte) bei verschiedenen Mechanisierungsvarianten (klein: Leitschlepper 45 kW, einreihiger Anbaufeldhäcksler; groß: Leitschlepper 160 kW, 8-reihiger Feldhäcksler 400 kW)

Fazit und Ausblick

Hoher Stand an Wissen, Mechanisierung und Kostenoptimierung für „Biogaspflanzen“. Grenzen der Kosteneinsparung durch Fortschritte in der Mechanisierung sind möglicherweise erreicht (StVO, Bodenschutz).

Mais ist aus ökonomischer Sicht derzeit noch konkurrenzlos.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland ist eingedenk des hohen Bedarfs an hochwertigen Lebensmitteln und dem rapide steigenden Bedarf an NawaRos extrem knapp. Unter anderem deshalb besteht noch Bedarf für bessere Kenntnis für vielfältigere Fruchtfolgen bei ähnlich hohen oder höheren Methanhektarerträgen wie Mais.

Transporte spielen sowohl für Kosten als auch für die Energieeffizienz der Energiepflanzenproduktion eine wichtige Rolle. Bei derzeitigen Transport- und Logistikkonzepten ist die dezentrale Biogaszeugung zu bevorzugen.

Aus land- und volkswirtschaftlicher Sicht besteht Bedarf an Strategien zur Nutzung von Grünland.

Literatur

DÖHLER *et al.* (2006): Pflanzenbauliche Strategien für die Zukunft – wie weit reichen Technik und Wirtschaftlichkeit? In: Energiefruchtfolgen, Stoffkreisläufe, Bodenfruchtbarkeit; Tagungsband zur Fachveranstaltung von ilu, BGK und VHE, Bonn, 136 S.

KTBL (2006): Datensammlung Energiepflanzen, Darmstadt, 372 S.

KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Darmstadt, 24 S.

Aktuelle und potenzielle Pflanzen für die Biogaserzeugung im Land Brandenburg

Crops for biogas production in the territory of Brandenburg

Gunter Ebel, Lothar Adam

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg,
Referat Acker- und Pflanzenbau, Berliner Str., 14532 Güterfelde

E-Mail: Referat.Pflanzenbau@LVLF.Brandenburg.de

Kurzfassung

Die stetig steigende Anzahl an Biogasanlagen erfordert Entwicklungen von Anbaukonzepten für die Biomassebereitstellung. Unter den regionalen Bedingungen Brandenburgs ist es das Ziel, aus pflanzenbaulicher, betriebswirtschaftlicher und ökologischer Sicht die in einem bestimmten Anbausystem effektivste Fruchtart in der Roggen - Kartoffel - Region Deutschlands insbesondere im Hinblick auf die Nutzung als Gärsubstrat zu ermitteln. Aus zwei bundesländerübergreifenden Projekten des BMELV liegen 2- bis 4-jährige Ergebnisse zu der Ertragsleistung von Gärsubstraten vor, die im Folgenden mitgeteilt werden. Im Fazit wird eine gegenwärtige Eingruppierung von Energiepflanzen für die Biogasverwertung nach ihrer derzeitigen Praxisrelevanz bzw. Anbaueignung vorgenommen.

Schlüsselwörter: Energiepflanzen, Fruchtfolgen, Biomasseertrag

Rahmenbedingungen im Bundesland Brandenburg

Mit dem EEG 2004 und den damit verbundenen Förderregelungen hat die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Kulturen im Sinne nachwachsender Rohstoffe insbesondere für die Biogaserzeugung an Bedeutung gewonnen. Die Folge ist die stetige Zunahme der Anlagenanzahl bzw. der -kapazität in Deutschland. Im Bundesland Brandenburg erhöhte sich deutlich die Anzahl der Biogasanlagen von 30 (2004) auf 55 Anlagen im Jahr 2006 (ANONYMUS 2006, ANONYMUS 2007). Unter anderem zählt der Biogassektor zu den Zukunftstechnologien, der zur Erreichung der gesellschaftlichen Ziele (Klimaschutz, Alternativen zu fossilen Ressourcen, Stärkung des ländlichen Raumes, ...) beiträgt. Aus diesem Grund wird mit einem weiteren Anstieg auf 175 Biogasanlagen im Jahr 2010 im Bundesland Brandenburg gerechnet (ANONYMUS 2006).

Die Entwicklung von Anbaukonzepten zur Biomassebereitstellung ist regional zu betrachten. So sind auf Grund spezifischer Standortbedingungen im Bundesland Brandenburg wie zum Beispiel:

- durch Vorsommertrockenheit geprägte niederschlagsarme, sandige Standorte¹;
- aber auch größere Betriebsstrukturen und eine installierte Anlagenleistung von über 500 kWel, die deutlich über den bundesweiten Durchschnitt liegt²;

abweichende Strategien für die Biomassebereitstellung im Vergleich insbesondere zu den westdeutschen Bundesländern von vornherein zu erwarten. Allgemein wird das Bundesland Brandenburg bezogen auf die Ertragsfähigkeit in die Roggen – Kartoffelregion Deutschlands eingestuft. Des Weiteren ist innerhalb des Bundeslandes die standortabhängige Anbauwürdigkeit der landwirtschaftlichen Kulturen (VON GAGERN & HANFF 2002; vgl. **Tabelle 1**) nach den Landbaugebieten klassifiziert.

Diese für Marktfrüchte aufgestellte Klassifizierung ist für die energetische Nutzung von Ganzpflanzen auf Grund der veränderten Anbaukonzeptionen und Bestandesführung zu evaluieren und durch potenzielle Fruchtarten zu ergänzen.

Die von den bisher etablierten Standardverfahren der Marktfrüchte abweichenden Anbaukonzepte für die Gärsubstratproduktion und –bereitstellung lassen sich unter anderem aus den folgenden Thesen ableiten:

1. Einsparung an Produktionsmittel bedingen **Kostenreduktion**:
 - früherer Erntetermin als Marktfruchtproduktion,
 - Tolerierung von Unkrautbesatz in Ganzpflanzensilagen,
 - gratis Fruchtfolgeeffekte?
2. Neue Anbausysteme fördern **Biodiversität** und **Nachhaltigkeit**:
 - früherer Erntetermin begünstigt Zweitfrucht- bzw. Zwischenfruchtanbau,
 - Einsatz „vergessener“ und neuer Kulturen, die bisher für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion keine Rolle spielten,
 - veränderte Fruchtfolgen mit Kulturartenvielfalt möglich,
 - Artenmischungen wirken sich positiv auf Ökonomie (Erhöhung Biogasausbeute) und Ökologie (Biodiversität) aus,
 - Einsatz Ackerfuttermischungen,
 - verbesserte Nährstoffeffizienz;
3. **Züchtungsfortschritt** lässt ertrags- und qualitätsreichere Sorten erwarten.

¹ vgl. Boden – Klima – Räume Deutschlands nach ROßBERG, MICHEL, GRAF & NEUKAMPF, 2007

² ANONYMUS, Biomasseaktionsplan Brandenburg 2006

Tabelle 1: Standortabhängige Anbauwürdigkeit von landwirtschaftlichen Marktfrüchten
(nach V. GAGERN & HANFF, 2002)

LBG I AZ > 45	LBG II AZ 36 - 45	Standort LBG III AZ 29 - 35	LBG IV AZ 23 - 28	LBG V AZ < 22
Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen
Winterweizen	Winterweizen	Wintergerste	Wintertriticale	Lupinen
Wintergerste	Wintergerste	Sommerbraugerste	Öllein	Seradella
Sommerbraugerste	Sommerbraugerste	Hafer	Kartoffeln	Stillegung
Hafer	Hafer	Wintertriticale	Körnererbsen	
Wintertriticale	Wintertriticale	Winterraps	Körnerlupinen	
Körnermais	Körnermais	Non-Food-Raps	Stillegung	
Winterraps	Winterraps	Sommerraps	Wintergerste	
Non-Food-Raps	Non-Food-Raps	Sonnenblumen	Mais	
Sommerraps	Sommerraps	Öllein	Winterraps	
Sonnenblumen	Sonnenblumen	Kartoffeln	Non-Food-Raps	
Öllein	Öllein	Körnererbsen	Sonnenblumen	
Zuckerrüben	Kartoffeln	Körnerlupinen		
Ackerbohnen	Körnererbsen	Stillegung		
Körnererbsen	Körnerlupinen	Körnermais		
	Zuckerrüben	Winterweizen		
	Ackerbohnen			
			ackerbaulich und betriebswirtschaftlich sinnvoll	
			ackerbaulich möglich und betriebswirtschaftlich sinnvoll	
			betriebswirtschaftlich möglich	

Diese Thesen werden in verschiedenen Projekten des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz - getragen über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. bearbeitet. An mehreren Standorten Brandenburgs sind Institutionen und Landwirtschaftsunternehmen an den Untersuchungen involviert³. Am **Standort Güterfelde** - Landbauggebiet III mit der Ackerzahl 28 bis 32 - sind seit 2003 verschiedene Versuchsanstellungen zum Anbau von Energiepflanzen im Hinblick auf die Biogasverwertung etabliert. Des Weiteren liegen Ergebnisse aus Untersuchungen von nachwachsenden Rohstoffen für die thermische bzw. industrielle Verwertung an verschiedenen Prüfstandorten des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburgs der zurückliegenden 15 Jahre vor, die für die Einordnung der Ergebnisse mit herangezogen werden können.

³ vgl. <http://www.fnr.de/>

Tabelle 2: Eingruppierung der Energiepflanzen für die Biogasverwertung nach ihrer derzeitigen Praxisrelevanz und Anbaubedeutung

Fruchtart / Anbaueinordnung	Praxisrelevanz		
	etablierte Standardkulturen	praxisfähiger Anbau möglich	Sonderkulturen / Versuchsanbau
Mais Hauptfrucht	XXX		
Grünschnittroggen und Mais Zweitfrucht	XXX		
Getreideganzpflanzensilage	XX(X)		
Sudangras Hauptfrucht		XX	
Zuckerhirse Hauptfrucht		XX	
Grünschnittroggen und Sudan-gras bzw. Zuckerhirse Zweitfrucht		XX	
Topinamburkraut und -knolle			X
Ackerfuttermischungen / -Reinsaaten		XX	
Kulturartenmischungen			X(X)
Winterraps Hauptfrucht		X(XX)	
Sonnenblume		XX	
Panicum			X
Geißraute			X
Alant			X
Resede			X
Senf / Ölerrettich (Zwischenfrüchte)			X

(...) Einschränkungen, Aufwertung möglich - weiterer Forschungsbedarf im Hinblick Anbau-/Ernteverfahren, Erntetermine und Gaserträge

Für den Energiepflanzenanbau mit dem Ziel der Vergärung können gegenwärtig die Fruchtarten je nach Praxisrelevanz in drei Gruppen eingestuft werden (**Tabelle 2**), die das Fazit der Ergebnisse und Erfahrungen u. a. folgender Projekte darstellt. Innerhalb des vom BMELV geförderten deutschlandweiten Verbundprojektes: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“⁴ (EVA) wird ein Großteil der Fruchtarten dieser Gruppen auch am **Standort Güterfelde** auf ihre Anbauwürdigkeit

⁴ Der Projektträger ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FKZ: 22002305).

Einzelne Erläuterungen zu diesem Projekt wie Projektpartner, untersuchte Fruchtfolgen und Parameter sind u. a. einem Flyer: http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2335/pro_biom.pdf zu entnehmen.

in 9 Fruchtfolgen (Teilprojekt 1) getestet (**Tabelle 3**). Weitere Brandenburger Institutionen sind an den „EVA“-Teilprojekten u. a. involviert:

- Teilprojekt Ackerfutter: Referat Grünland- und Futterwirtschaft der LVLF und Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin;
- Teilprojekt 2 – Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus: Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF Müncheberg;
- Teilprojekt 4 – Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute in Labor und Praxis: Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim.

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Standort Güterfelde.

Tabelle 3: Standard- und Regionalfruchtfolgen des Verbundprojektes „EVA“ am Standort Güterfelde

Anlage 01	2005	2006	2007	2008
Anlage 02	2006	2007	2008	
Fruchtfolge	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr
1. Standardfruchtfolge 1	Sommerroggen / Ölrettich (SZF)	Mais	Wintertriticale / Zuckerhirse (ZF)	<i>Winterroggen</i>
2. Standardfruchtfolge 2	Sudangras / Futterroggen (WZF)	Futterroggen / Mais (ZF)	<i>Wintertriticale</i>	<i>Winterroggen</i>
3. Standardfruchtfolge 3	Mais / Futterroggen (WZF)	Futterroggen / Sudangras (ZF)	Wintertriticale / Weidelgras (ZF)	<i>Winterroggen</i>
4. Standardfruchtfolge 4	Sommerroggen / Klee gras	Klee gras	Klee gras	<i>Winterroggen</i>
5. Standardfruchtfolge 5	Hafer / Wintertriticale	Wintertriticale	<i>Winterraps</i>	<i>Winterroggen</i>
6. Regionalfruchtfolge 1	Sommerroggen / Senf (WZF)	<i>Lupine</i>	Winterroggen	<i>Winterroggen</i>
7. Regionalfruchtfolge 2	Sonnenblume / Ölrettich (SZF)	<i>Erbsen</i>	Wintertriticale	<i>Winterroggen</i>
8. Regionalfruchtfolge 3	Topinambur	Topinambur	Topinambur	<i>Winterroggen</i>
9. Regionalfruchtfolge 4	Artengemisch (Hafer, Erbsen, Leindotter) / Winterraps	Winterraps / Futterroggen (WZF)	Futterroggen / Sudangras (ZF)	<i>Winterroggen</i>

Anlage 01 Start 2005, Anlage 02 Start 2006; Kulturen für die Ganzpflanzennutzung bzw. als *Marktfrüchte*; ZF = Zweitfrucht, SZF /WZF = Sommer- bzw. Winterzwischenfrucht

Biomasse – Anbau und Ertragsleistung

In den Ertragsergebnissen waren zwischen den Versuchsjahren 2005 und 2006 deutliche Differenzen vorhanden. Durch die kalte Frühjahrsperiode 2006 und die extreme Trockenheit im Juni und Juli sind bei allen Kulturen / Fruchtfolgen Ertragsausfälle von 30 bis 50 % zum Vorjahr aufgetreten (**Tabelle 4** und **Bild 1**). Die Ganzpflanzenerträge

der Hauptfrüchte lagen im Bereich von 40 dt TM ha⁻¹ (Sommerroggen, Hafer) bis 100 dt TM ha⁻¹ (Sudangras). Gegenüber dem Sommergetreide ist bei Wintertriticale ein um ca. 20 dt höherer Trockenmasseertrag je Hektar im Jahr 2006 geerntet worden. Dieser lag damit auf dem Niveau des TM-Ertrages von Sommergetreide im Vorjahr. Der Trockenmasseertrag der Hauptfrucht Mais lag mit ca. 90 dt TM ha⁻¹ unter dem von Sudangras (100 dt TM ha⁻¹). Beide Kulturen in Hauptfruchtstellung haben aber wie im Vorjahr (mit ca. 150...155 dt TM ha⁻¹) signifikant höhere Erträge als die anderen Fruchtarten. In Zweitfruchtstellung wurden mit einer späteren Aussaat ca. 90 % (bei Mais) und ca. 60 % (bei Sudangras) der Hauptfruchterträge erzielt. In der zweijährigen Aufwuchsleistung streuten die Gesamterträge fruchtfolgespezifisch zwischen ca. 110 dt TM ha⁻¹ und 250 dt TM ha⁻¹ (**Bild 2**). Die Fruchtfolgen mit Mais bzw. Sudangras wechselnd in Hauptfruchtstellung (2005) und in Zweitfruchtstellung (2006) inklusive der Zwischenfrucht Winterroggen (GPS-Nutzung zum Zeitpunkt: BBCH 49) wiesen dabei signifikant höhere Erträge als die Getreide dominierten Fruchtfolgen aus. In den Fruchtfolgen ohne Mais und Sudangras existierten bei der Ernte von Topinamburkraut ertragliche Vorteile gegenüber den Getreide betonten Fruchtfolgen.

Trockenmasseertrag (dt ha⁻¹)

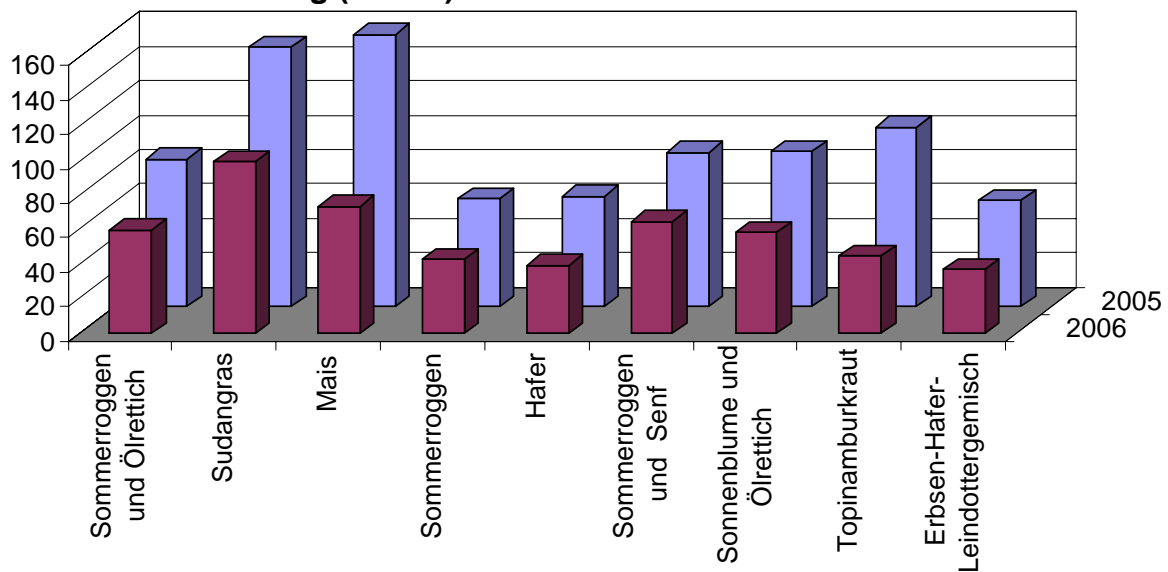


Bild 1: Trockenmasseerträge (dt ha⁻¹) - Vergleich der Biomassekulturen Güterfelde – Jahre 2005 und 2006

Tabelle 4: Trockenmasse-Ertragspotenzial (dt ha⁻¹) der Standardfruchtfolgen (1 bis 5) und der Regionalfruchtfolgen (6 bis 9) - für die Jahre 2005 (ertragsstark) und 2006 (ertragsschwach), Standort Güterfelde Ackerzahl 28-30

Standardfruchtfolge	Kulturart	Nutzung	Stellung in der Fruchtfolge	TM dt ha ⁻¹	
				2006	2005
1	Sommerroggen	Ganzpflanze	Hauptfrucht	40 ... 63	
	Ölrettich	Ganzpflanze	Zwischenfrucht	20	
	Mais	Ganzpflanze	Hauptfrucht	90 ...	
2	Sudangras	Ganzpflanze	Hauptfrucht	100 ... 150	
	Grünschnittroggen (BBCH 49)	Ganzpflanze	Zwischenfrucht	25	
	Mais	Ganzpflanze	Zweitfrucht	80 ...	
3	Mais	Ganzpflanze	Hauptfrucht	75 ... 155	
	Grünschnittroggen (BBCH 49)	Ganzpflanze	Zwischenfrucht	30	
	Sudangras	Ganzpflanze	Zweitfrucht	60 ...	
4	Sommerroggen	Ganzpflanze	Hauptfrucht	43 ... 62	
	Kleegrass	Ganzpflanze	Hauptfrucht 1. Aufwuchs	27	
	Kleegrass	Ganzpflanze	Hauptfrucht 2. Aufwuchs	18	
5	Hafer	Ganzpflanze	Hauptfrucht	40 ... 65	
	Wintertriticale	Ganzpflanze	Hauptfrucht	60	

Regionalfruchtfolge	Kulturart	Nutzung	Stellung in der Fruchtfolge	TM dt ha ⁻¹	
				2006	2005
6	Senf	Ganzpflanze	Zwischenfrucht	25	
	Lupine	Korn	Hauptfrucht	9	
		Stroh		12	
7	Sonnenblumen	Ganzpflanze	Hauptfrucht	55 ... 75	
	Ölrettich	Ganzpflanze	Zwischenfrucht	5 ... 15	
	Erbsen	Korn	Hauptfrucht	16	
		Stroh		14	
8	Topinambur	Kraut	Hauptfrucht	50 ... 100	
9	Artengemisch (Hafer/Erbsen/Leindotter)	Ganzpflanze	Hauptfrucht	35 ... 63	
	Winterraps	Ganzpflanze	Hauptfrucht	57	

Trockenmasseertrag (dt ha⁻¹)

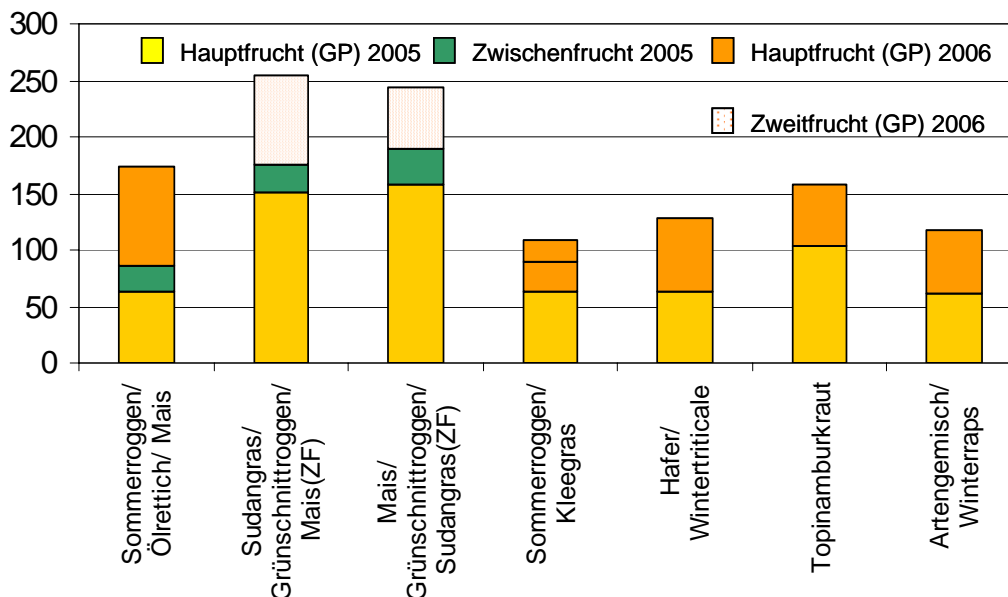


Bild 2: Kumulierte Aufwuchsleistung (dt TM ha⁻¹) verschiedener Biomassefruchtfolgen, Güterfelde, 2005 und 2006

Die Erfahrungen der Versuchsjahre 2005 und 2006 weisen für die **sandigen Trockenstandorte** eine Diskrepanz zwischen den Wachstumsstadien und der TS-Entwicklung auf. Die in anderen Regionen Deutschlands ermittelten Zusammenhänge Wachstumsstadien vs. TS-Verlauf für die Ganzpflanzensilageproduktion mit dem Ziel der Biogasverwertung (KARPENSTEIN-MACHAN 2005) sind auf sandigen Standorten mit Ackerzahlen < 35 zu präzisieren.

Neben den Standardfruchtarten werden allgemein seit 5 Jahren *Sorghum* - Gräser als Biogassubstrat-Alternative zum Maisanbau benannt. Auf Grund der geringen Anbauverfahren werden nachfolgend die seit 2003 im Rahmen eines Mehrländer-Förderprojektes⁵ gewonnenen Ergebnisse der Anbauversuche mit **Sudangras** (*Sorghum sudanense*) - und **Zuckerhirse** (*Sorghum bicolor*) bzw. deren Hybridformen vom Standort Güterfelde ausführlicher dargestellt. Wie bei allen Hirsearten sind die Wärmeansprüche hoch. Die Aussaat sollte bei Hauptfruchtstellung daher frühestens ab etwa Mitte bis Ende Mai erfolgen. Keimversuche unter kontrollierten Bedingungen im Bereich von 14 bis 20°C zeigten Keimverzögerung unter 16°C, die 6 bis 10 Tage erreichen können. In kühlen Perioden ist eine Aussaatverzögerung dem frühen Saattermin vorzuziehen. Für eine rasche Jugendentwicklung wird daher eine Aussaat bei **Bodentemperaturen** erst ab >16°C in der oberen Bodenzone empfohlen. Bei einer vergleichsweise späten Aussaat ergeben sich auch günstigere Konstellationen bei der

⁵ „Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands“ (FKZ: 22011502) der FNR Gülzow in Zusammenarbeit mit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Verminderung des Unkraut- und Ungrasdruckes sowohl vor bzw. nach der Aussaat. Während der Bestockung ist das oberirdische Biomassewachstum relativ gering, da sich zu dieser Zeit die Wurzeln stark entwickeln. Die Saatbettvorbereitung und Saatgutausbringung kann analog von Mais erfolgen. Zugelassene **Sorten** gibt es in Deutschland bisher nicht. Im Sortenkatalog der EU werden eine große Zahl vertriebsfähiger Sorten aufgeführt. Zu Sudangras wie *Susu* (Hybride = H), *Lussi* (H), *GK Csaba* (H) oder *Akklimat* sowie *Super Sile 15* (H), *Super Sile 20* (H), *Friggo* (H) und *Sugargraze* (H) als Zuckerhirsen liegen Ergebnisse u. a. in Güterfelde vor. Der Reihenabstand bei der **Aussaat** von Sudangras ist in einer größeren Spannweite von 25 bis 50 cm möglich. Betrieblicherseits sollte der Abstand auf die vorhandene Erntetechnik abgestimmt sein. Für einen geringen Reihenabstand spricht auch der Unterdrückungseffekt gegen die Unkrauthirsen. Abstände von 50 cm werden für Zuckerhirse empfohlen. Unterschiede bestehen in den Saattmengen; Sudangras ca. 20 kg ha⁻¹ und Zuckerhirsen ca. 8 kg ha⁻¹ bei einer Saattiefe von 2 bis 3 cm. Das stark ausgebildete Bestockungsvermögen gewährleistet bei *Sorghum* im Gegensatz zum Mais im Falle von Fehlstellen eine Kompensation des Bestandes. Bei *Sorghum* kann eine gewisse Restverunkrautung toleriert werden. In Einsatzprüfungen wurden im Nachauflauf mit dem Herbizid Artett in einer Mittelmenge von 2,5 bis 3,0 l ha⁻¹ gegen eine allgemeine Mischverunkrautung ausreichende Wirkungsgrade erzielt. Auch Biathlon, Basagran, Certrol B, Mais Banvel WG erwiesen sich als pflanzenverträglich. Grundsätzlich gilt für den Herbizideinsatz in Sudangras und Zuckerhirse bisher die Lückenindikation, so dass vorher die Genehmigung beim zuständigen Pflanzenschutzdienst nach § 18b des Pflanzenschutzgesetzes zu beantragen sind. Eine Saatgutbeizung ist zu empfehlen. Krankheiten und Schädlinge besitzen keine schadrelevante Bedeutung.

Sorghum besitzt mit seinem tiefreichenden und verzweigten Wurzelsystem ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen. Der Bedarf an Phosphor liegt bei 30 - 40 kg ha⁻¹, Kalium 150 bis 200 kg ha⁻¹. Auch der Einsatz von Wirtschaftsdüngern ist möglich, sollte aber bis Bestandesschluss erfolgen. Die Stickstoffdüngung kann moderat mit ca. 100 bis 120 kg je Hektar vorgenommen werden, wobei nur stabilisierte Dünger zur Saat verabreicht werden sollten, ansonsten erst vor Beginn des Massezuwachses. Eine Teilung der N-Gabe wird empfohlen.

Die **Ernte** von Sudangras und Zuckerhirse kann bei entsprechender Berücksichtigung des Reihenabstandes mit dem Maishäcksler erfolgen. Je nach Standort, Witterung und Erntetermin sind 120 bis 160 dt Trockenmasse ha⁻¹ erntbar (**Bild 3** bis **Bild 5**). Die Sudangrashybride *Lussi* ist im Hinblick auf den Trockenmasseertrag und der Trockensubstanzentwicklung im Vergleich der geprüften Sorten am günstigsten zu beurteilen. Der Erntetermin liegt nach etwa 130 Wachstumstagen. Unter günstigen Witterungsbedingungen sind bei Sudangras zwar 2 Schnitte möglich, haben aber im Vergleich zur Einschnittnutzung keinen Ertragsvorteil erbracht (**Bild 4**). Die Silierbarkeit des Erntegutes wird unproblematisch beurteilt. Es ist mit einem Trockensubstanzgehalt von 24 – 26 % bei Zuckerhirse und 26 – 28 % bei Sudangras zu rechnen. Unter Beachtung

der Frostempfindlichkeit von *Sorghum* und bei Winterkulturennachbau erwies sich der Erntezeitpunkt Ende September/Anfang Oktober als optimal. Zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials ist die Wachstumsdauer von besonderer Bedeutung.

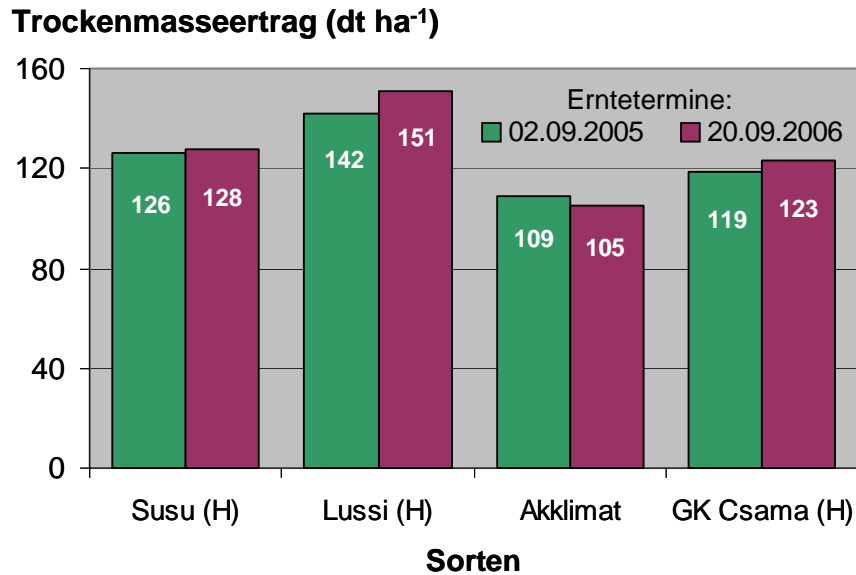


Bild 3: Sudangras-Sortenvergleich; Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹), Güterfelde, 2005 und 2006

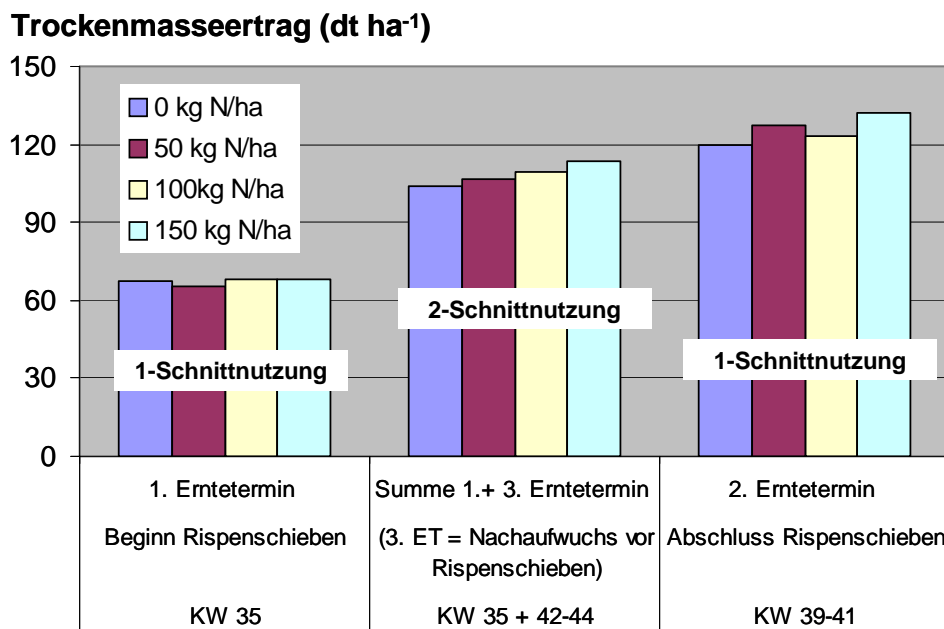


Bild 4: Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) von Sudangras der Sorte „Susu“ bei Variation der N-Düngung und Erntetermin, Güterfelde 2004-2006

Trockenmasseertrag (dt ha⁻¹)

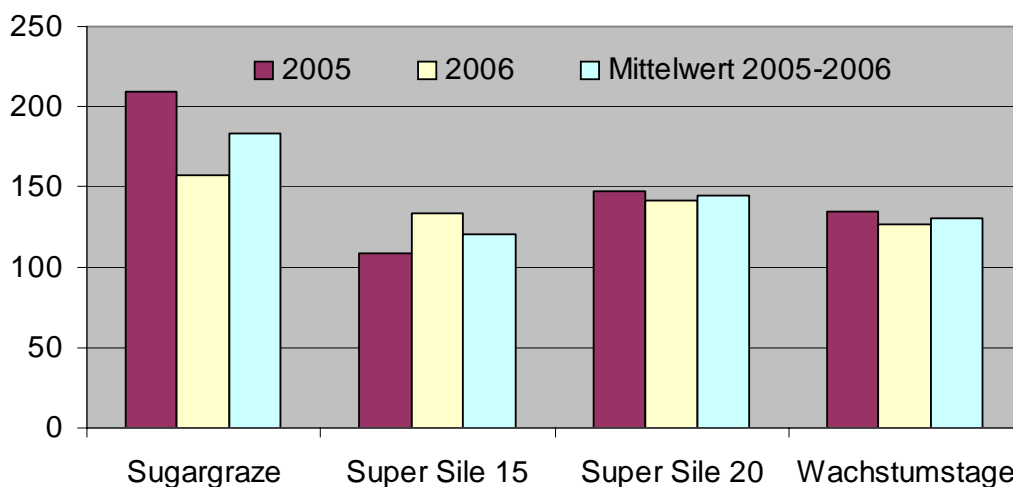


Bild 5: Trockenmasseerträge (dt TM ha⁻¹) von drei Zuckerhirsesorten sowie Anzahl der Wachstumstage, Güterfelde 2005-2006

Biogaserträge

Mit dem bisherigen Datenmaterial konnte nach dem Ansatz von SCHATTAUER & WEILAND (2005) die theoretische Biogasausbeute geschätzt werden. Die so ermittelten Werte liegen im Bereich der KTBL-Richtwerte für Gasausbeuten (ANONYMUS, 2005): Getreide-GPS 520 I_N kg⁻¹ oTS; Sudangras 550 I_N kg⁻¹ oTS und Maissilagen (Milchreife) 570 I_N kg⁻¹ oTS. Insbesondere für „Sonder“kulturen (z. B. Topinamburkraut) bzw. abweichende Nutzungsrichtungen, die bisher in den DLG-Futterwerttabellen (ANONYMUS 1997) keine Berücksichtigung fanden, ist der Ansatz zu evaluieren. Die für den Standort Güterfelde aus dem Fruchtfolgeversuch bisher vorliegenden Ergebnisse der Gärtests 2005 (nach HEIERMANN *et al.* 2006 – ATB Potsdam-Bornim, Teilprojekt 4) weisen Werte von ca. 570 (Topinamburkraut), 680 (Roggen) ... 850 (Mais) I_N Biogas kg⁻¹ oTS aus und sind damit ca. 20 bis 25 % höher als die kalkulierten Werte. Erst mit der Relation des Trockenmasseertrages ist ein Vergleich der Methangasausbeuten zwischen den Kulturen und Fruchtfolgen je Flächeneinheit Hektar zu kalkulieren. Nach dem theoretischen Ansatz wiesen Sudangras mit ca. 3500 m³ CH₄ ha⁻¹ und Mais mit ca. 4500 m³ CH₄ ha⁻¹ die höchsten Methangehalte auf. Entsprechend der oben getroffenen Aussagen ist nach den Gärtests die Methangasausbeute je Flächeneinheit entsprechend höher (Mais: ca. 6000 m³ CH₄ ha⁻¹). Auf Grund der Ertragsausfälle 2006 sind deutlich geringere Methangasausbeuten aus den Substraten je Hektar Anbaufläche als im Vorjahr zu erwarten.

Die untersuchten *Sorghum*-Arten sind nach der standardisierten Methode der durchgeführten Batch-Gärversuche für eine Biogasgewinnung geeignet. Das mögliche Potenzial für die Biogas- und Methanausbeute bezogen auf den organischen Trockensubstanzgehalt (oTS) weist auf deutliche Unterschiede in Abhängigkeit des Erntetermins hin.

Die oTS – Methanausbeuten liegen danach im Bereich der für pflanzliche Biomassen zu erwartenden Ausbeuten.

Fazit

Die gegenwärtige Eingruppierung von Energiepflanzen für die Biogasverwertung nach ihrer derzeitigen Praxisrelevanz / Anbaueignung (Tabelle 2) basiert u. a. auf den Untersuchungsstand der laufenden Projekte im Bundesland Brandenburg.

Auf Grund des standardisierten Produktions- und Ernteverfahrens in Wechselwirkung mit hohen Trockenmasse- und Gaserträgen gilt der Mais in Haupt- wie aber auch in Zweitfruchtstellung als die Standardkulturart für die Biogasproduktion.

Die Getreide-Ganzpflanzensilageherstellung zum vorverlegten Erntezeitpunkt der Milch- bzw. Teigreife ist ein praxistaugliches Standardverfahren. Allerdings sind die Erntetermine in Wechselwirkung Art/Sorte, Trockenmasseertrag und Gasausbeute insbesondere unter den Bedingungen der vorsommertrockenen Standorte im Land Brandenburg zu validieren. Dazu ist derzeit ein Versuch mit unterschiedlichen Wintergetreidearten/-sorten am Standort Güterfelde etabliert.

Die Verwendung von Sudangras und Zuckerhirse als Biogassubstrat ist in Bezug des Anbauverfahrens praxistauglich. Die *Sorghum*-Arten sind für die Biogaserzeugung eine potenzielle Ergänzung zu den etablierten regionalen Fruchtartensubstraten Brandenburgs. Für diese beiden Kulturen werden durch verbesserte Anbauverfahren und Züchtungsfortschritt höhere Trockenmasse- und Biogaserträge erwartet. Die Festlegung des Erntetermins sollte im Hinblick auf den Trockenmasseertrag, Silierbarkeit, der Biogasausbeute je Hektar und dem Aussattermin der Nachfrucht erfolgen. Eine Ernte von Sudangras unter 20 % Trockensubstanz ist mit erheblichen Ertragseinbußen und schlechter Silierbarkeit verbunden. Die Zweischnittnutzung bei Sudangras bringt ertraglich keine Vorteile gegenüber einer späteren Einschnittnutzung.

Zur Ganzpflanzenernte und Verwertung als Gärsubstrat sind die Fruchtarten Winterraps, auf Grund erhöhter Schwefelgehalte (Hemmstoffe im Fermenter), sowie Sonnenblumen als Hauptfrucht, Ölrettich und Senf als Zwischenfrüchte – auf Grund geringer Trockensubstanzgehalte bei der Ernte - nur bedingt geeignet.

Die für die Futternutzung bekannten Standardanbauverfahren mit Ackerfuttermischungen werden im Teilprojekt Ackerfutter des „EVA“-Verbundprojektes gegenwärtig auch für den Einsatz als Biogassubstrat geprüft⁶. Hierbei wird ein Vergleich verschiedener Ackerfuttermischungen und Erntetermine vorgenommen. Entscheidend für eine zunehmende Bedeutung als Gärsubstrat ist das Ergebnis der noch ausstehenden komplexen ökonomischen und ökologischen Bewertung mehrjähriger Ackerfuttersysteme im Vergleich zu verschiedenen Fruchtfolgen.

⁶ im Land Brandenburg: am Standort Paulinenaue - Referat Grünland- und Futterwirtschaft der LVL und am Standort Berge - Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität Berlin

Für die aufgeführten Sonderkulturen bzw. Kulturartenmischungen können zurzeit aus Sicht der Anbautechnik aber auch der Biomasse- und Gaserträge nur einschränkend praxisfähige Empfehlungen gegeben werden. Hier sind weiterhin intensive Untersuchungen notwendig.

Die aus dem Fruchtfolgeversuch (Projekt: „EVA“) ermittelten Statusergebnisse der witterungsbedingt sehr unterschiedlichen Versuchsjahre 2005 und 2006 dürfen gegenwärtig nur einer vorläufigen Wertung unterzogen werden. Im Zusammenhang mit den Ertragsergebnissen des Jahres 2007 erfolgt die Bewertung im Hinblick auf Anbaueignung, Biogasausbeute, Ökonomie und Ökologie im 4. Quartal 2007 und wird auf der 26. Fachtagung für Acker- und Pflanzenbau am 22.11.2007 in Bresch / Prignitz vorgestellt.

Literatur

- ANONYMUS (1997):** DLG Futterwerttabellen Wiederkäuer. Herausgeber – Universität Hohenheim. 7. Auflage. DLG Verlag Frankfurt am Main. 212 pp.
- ANONYMUS (2005):** Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Herausgeber: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt – Arbeitsgruppe „Biogaserträge“, 24 pp.
- ANONYMUS (2006):** Biomasseaktionsplan Brandenburg – Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse bis 2010. Herausgeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV). Potsdam, 31 pp.
- ANONYMUS (2007):** Persönliche Mitteilung. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV), Potsdam
- HEIERMANN M., IDLER CH., HERRMANN CH., SCHNEIDER R. (2006):** persönliche Mitteilung – Gaserträge 2005 der Proben Standort Güterfelde – Verbundprojekt „EVA“ Teilprojekt 4 - Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim.
- KARPENSTEIN-MACHAN M. (2005):** Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG Verlag Frankfurt am Main. 191 pp.
- ROßBERG D., MICHEL V., GRAF R., NEUKAMPF R. (2007):** Boden-Klima-Räume und Anbauggebiete als Basis des regionalisierten Sortenwesens in Deutschland. In: Beiträge zum Sorten- und Versuchswesen und zur Biostatistik. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern 37, Gülzow, p. 24-30.
- SCHATTAUER A., WEILAND P. (2005):** In: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Herausgeber Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Auflage 2005. Kapitel 4: Grundlagen der anaeroben Fermentation, p 29-31.
- VON GAGERN W., HANFF H. (2002):** Schriftliche Mitteilung. Arbeitspapier der Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung.

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Verbundvorhaben: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) – Koordinator: TLL Jena bzw. „Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands“ in Zusammenarbeit mit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft werden mit Mitteln des BMELV gefördert. Der Projektträger ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FKZ: 22002305 und FKZ: 22011502). Die mitgeteilten Gasausbeuten der Gärtests sind Ergebnisse des „EVA“-Teilprojektes 4: Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (HEIERMANN *et al.* 2006). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Mischfruchtanbau auf sandigen Böden – Alternative Anbaustrategien

Mixed Cropping Systems on sandy soils – alternative cropping strategies

Matthias Dietze

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Dorfplatz 1, 18276 Gülzow

E-Mail: m.dietze@lfa.mvnet.de

Kurzfassung

Bundesweit wird mit Mitteln des BMELV ein Projekt zur Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen gefördert und von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe betreut. Im Rahmen dieses Verbundvorhabens werden an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in einem Teilprojekt Untersuchungen zum Mischfruchtanbau auf sandigen Böden angestellt. Die Untersuchungen erstrecken sich über den Zeitraum von 2005 bis 2008 auf dem Versuchsstandort Gülzow bei Güstrow auf einem Sandboden mit der Ackerzahl 20 bis 25.

In dem Versuch wird der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen mit größerer Sicherheit Biomasse zu erzeugen.

Ausgehend von der regionalen Empfehlung für die Reinsaat wird die Wichtung der Saatstärke und Stickstoffmenge im Gemenge modular festgelegt. Die Anbauform ist eine gemischte Saat ohne spezielle Anordnung.

Ertragsermittlung und Erfassung der Begleitflora bei Rein- und Mischsaaten bilden den Schwerpunkt der Versuchsanstellung. Über eine Analyse der Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit der Einzelkomponenten (DLG-FUTTERWERTTABELLE 1997) werden rechnerisch die Biogaspotentiale ermittelt (SCHATTAUER & WEILAND 2005). Außerdem werden Daten zu Standort, Witterung, Boden und Bestandesstruktur erhoben sowie eine ökonomische Bewertung vorgenommen.

Schlüsselwörter: Mischfruchtanbau, Energiepflanzen, sandige Böden

Einleitung

Ziel des Mischanbaus ist es, auf weniger ertragreichen Standorten bei einem niedrigeren Intensitätsniveau höhere und vor allem stabilere Erträge als durch Reinsaaten zu errei-

chen. Dieser Effekt begründet sich mit der ausgeglicheneren Reaktion der Mischsaaten auf die Umwelteinflüsse und der Verringerung der Einflüsse durch Schaderreger und Unkräuter. Demzufolge dürften der ökologische Landbau und trockene Sandböden („Grenzstandorte“) als besonders für den Mischfruchtanbau geeignet sein. In Mecklenburg-Vorpommern werden ca. 27 % der Ackerfläche den so genannten Grenzstandorten zugeordnet.

Unter dem Begriff Grenzstandorte werden nach MICHEL (1999) diejenigen Ackerbaustandorte zusammengefasst, die bei gegebener Marktlage und unter bestimmten agrarpolitischen Rahmenbedingungen nicht kostendeckend produzieren können. Dabei handelt es sich um die natürlichen Standorteinheiten D1, D2 und grundwasserferne D3 Standorte.

Innerhalb des Verbundprojektes „Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen“ stehen zur Erreichung des genannten Zieles im Teilprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung auf sandigen Böden“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung von Futterpflanzen und Körnerfrüchten auf ihre Eignung für den Mischanbau nach bereits erarbeiteten Kriterien,
- Ermittlung und Vergleich der Leistungen von Futterpflanzen und Körnerfrüchten im Mischanbau und in Reinsaat,
- Erarbeitung von Produktionskennziffern,
- Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die auf Grund spezifischer Eigenschaften für Sandböden geeignet waren.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erstrecken sich über den Zeitraum von 2005 bis 2008 auf dem Versuchsstandort Gülzow bei Güstrow und in Bandow auf sandigem Substrat mit der Ackerzahl zwischen 20 und 25. Das langjährige Mittel (30 Jahre) der jährlichen Niederschlagssumme beträgt 542 mm, die mittlere Lufttemperatur liegt bei 8,3°C (**Bild 1**). In dem Versuch wird der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen höhere Methangehalte in dem aus den Substraten gewonnenen Biogas zu erreichen (Produktion sich qualitativ ergänzender Biomassen).

Ausgehend von der regionalen Empfehlung für die Reinsaat wurde die Wichtung der Saatstärke und Stickstoffmenge im Gemenge modular festgelegt (**Tabelle 1** und **2**). Die Anbauform ist eine gemischte Saat ohne spezielle Anordnung.

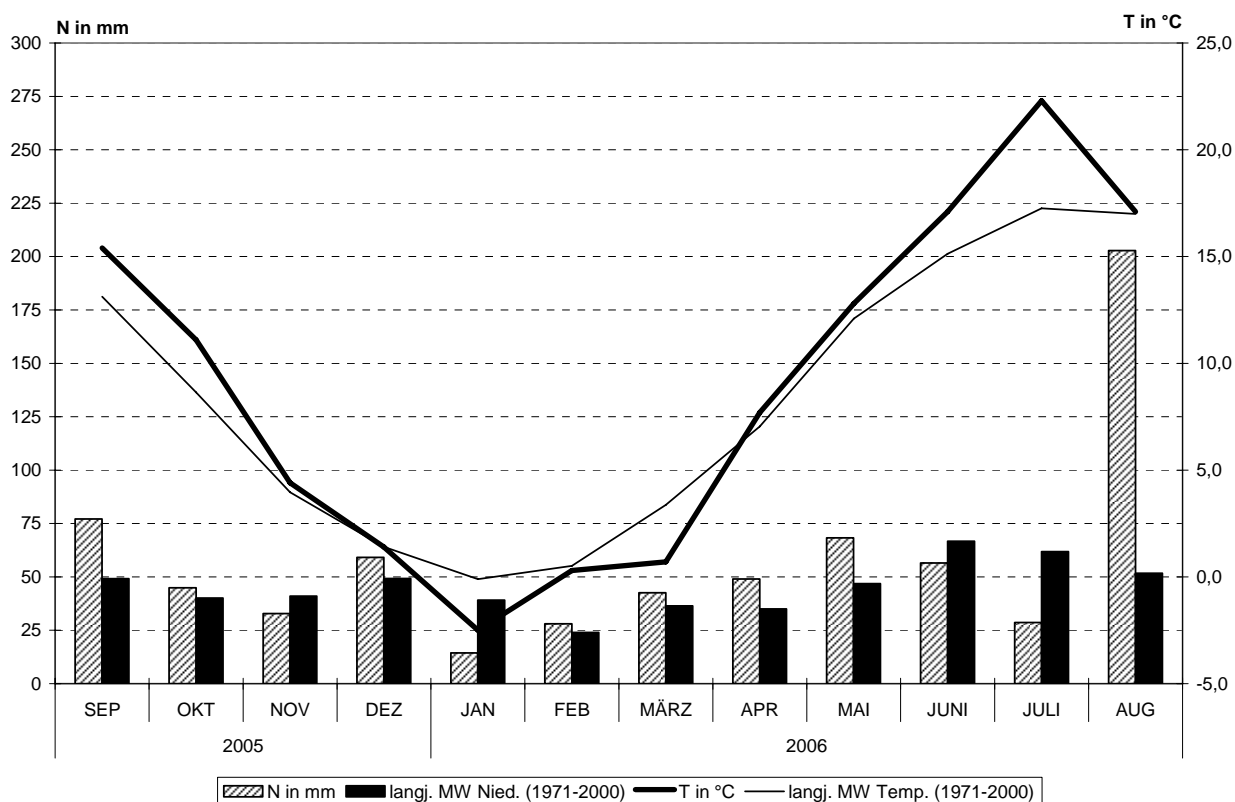


Bild 1: Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode 2005-2006, Wetterstation Gülzow

Tabelle 1: Varianten Winterung 2005/2006

Reinsaat	Sorten	Botanische Bezeichnung	Saatstärken (kg/ha)	N (kg/ha)
Futterroggen	Avanti	<i>Secale cereale</i>	180*	80
Wintergerste	Merlot	<i>Hordeum vulgare</i>	300*	80
Welsches Weidelgras	Fabio	<i>Lolium multiflorum</i>	40	80
Winterraps	Trabant	<i>Brassica napus</i>	70*	40+80
Winterrübsen	Perko PVH	<i>Br. rapa X Br. rapa ssp. pekinensis</i>	10	40+80
Winterwicke	Dr. B. Otsaat	<i>Vicia villosa</i>	100	0
Bokharaklee		<i>Melilotus albus</i>	25	0
Inkarnatklee	Linkarus	<i>Trifolium incarnatum</i>	30	0
Mischungen				
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	% der Reinsaat	Modular
Futterroggen	Winterwicke		80%:50%	60
Futterroggen	Bokhara		80%:100%	60
Wintergerste	Winterwicke	Winterrübsen	60%:30%:40%	40+60
Welsches Weidelgras	Inkarnatklee		80%:20%	60
Welsches Weidelgras	Winterwicke	Inkarnatklee	75%:20%:33%	60
Winterraps	Winterwicke		60%:40%	40+60
Wintergerste	Winterraps		60%:60%	40+80
Wintergerste	Winterrübsen		60%:60%	40+80

*keimfähige Körner/m²

Tabelle 2: Varianten Sommerung 2006

Reinsaat	Sorte	Botanische Bezeichnung	Nutzung	kfKö/m ²	Anteil %	N (kg/ha)
Mais	Lacta	<i>Zea mais</i>	GPS	8	100	120
Sudangras	Susu	<i>Sorghum halepense var. sudanense</i>	GPS	30*	100	120
Roggen	Sorom	<i>Secale cereale</i>	GPS	330	100	80
Gerste	Djamila	<i>Hordeum vulgare</i>	GPS	280	100	80
Hafer	Revisor	<i>Avena sativa</i>	GPS	320	100	80
Bokharaklee		<i>Melilotus albus</i>	GPS	25*	100	0
Lupine	Borlu	<i>Lupinus angustifolius</i>	GPS	90	100	0
Saflor	Sabina	<i>Carthamus tinctorius</i>	GPS	30*	100	80
Mischungen						
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	4. Kultur	5. Kultur		
Mais	Bokhara				GPS	75/50 80
Sudangras	Bokharaklee				GPS	75/50 80
Sudangras	Lupine				GPS	75/50 80
Roggen	Gerste	Hafer			GPS	50/50/50 80
Roggen	Bokhara				GPS	75/50 60
Lupine	Bokhara	Gerste			GPS	50/50/50 60
Lupine	Saflor	Gerste			GPS	50/50/50 60
Lupine	Gerste				GPS	75/75 60

*kg/ha

Ertragsermittlung und Erfassung der Begleitflora bei Rein- und Mischsaaten bilden den Schwerpunkt der Versuchsanstellung. Durch eine Analyse der Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit der Einzelkomponenten (DLG-FUTTERWERTTABELLE 1997) werden rechnerisch die Biogaspotentiale ermittelt (SCHATTAUER & WEILAND 2005). Außerdem werden Daten zu Standort, Witterung, Boden und Bestandesstruktur erhoben sowie eine ökonomische Bewertung vorgenommen.

Ergebnisse

Die Erträge der *Winterwicke* und des *Inkarnatklees* waren mit rund 14 und 10 dt TM/ha auf dem Versuchsstandort Gülzow deutlich höher als in Bandow (5,8 und 4,5 dt TM/ha). Das traf auch für das *Welsche Weidelgras* mit knapp 16 dt TM/ha und den Winterrübsen mit 10 dt TM/ha in Gülzow und mit jeweils 10,5 und 8,6 dt TM/ha in Bandow zu.

Der deutlich frühere Aussattermin in Gülzow (05.09.2005) könnte diesen Ertragsunterschied bewirkt haben, so wie der spätere Aussattermin in Bandow (14.09.2005) sich positiv auf die Erträge des Ganzpflanzengetreides ausgewirkt haben könnte.

Während der Herbizideinsatz beim *Roggen* in Gülzow und Bandow sowie bei der *Gerste* in Gülzow keine nennenswerten Ertragsunterschiede bewirkte, kam es bei der mit 0,8 l/ha Bacara behandelten *Wintergerste* zu einem Ertragsanstieg auf 76 dt TM/ha (49 dt TM/ha ohne Herbizid).

Bei den *Roggengemengen* wurde kein Ertragsvorteil gegenüber der Reinsaat festgestellt. Die Gemenge *Winterwicke/Wintergerste/Winterrübsen* und *Wintergerste/Winterrübsen*

zeigten in der Summe der Einzelerträge einen Ertragsvorteil gegenüber der Reinsaat *Winterrübsen* und in Bandow auch gegenüber der Reinsaat *Winterwicke*, jedoch auf insgesamt niedrigem Niveau. Ähnlich lagen die Verhältnisse zwischen den Reinsaaten *Welches Weidelgras*, *Inkarnatklée* und *Winterwicke* zu dem *Klee*gras und dem *Landsberger Gemenge* auf dem Versuchsstandort Bandow. Einzig das *Landsberger Gemenge* auf dem Versuchsstandort Gülzow wies gegenüber den Reinsaaten mit rund 22 dt TM/ha höhere Erträge auf. Auf Grund der Sommertrockenheit erfolgte bei den genannten Varianten auch nur ein Schnitt. Die Ertragsergebnisse spiegelten sich auch in der Darstellung der rechnerisch ermittelten Methanerträge wieder (**Bild 2** und **3**).

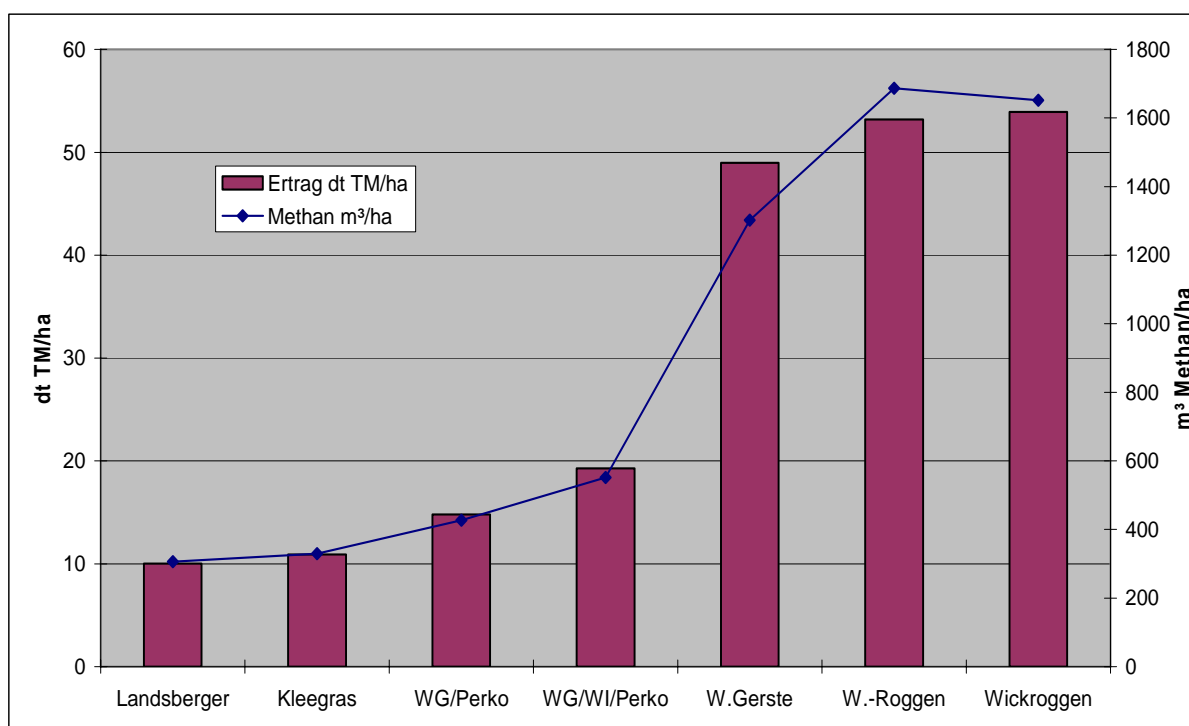


Bild 2: Erträge in dt TM/ha und m³ Methan/ha – Versuchsfeld Bandow

Mit errechneten Werten zwischen 1600 und 1700 m³ Methan/ha in Bandow und um die 1400 m³ Methan/ha in Gülzow nahmen der zum Grannenspitzen geerntete *Winterroggen* und der *Wickroggen* die höchste Stellung unter den geprüften Kulturen ein. Die zur „Teigreife“ geerntete *Gerste*, die ertragsseitig das Niveau des *Winterroggens* in der Variante „ohne Herbizid“ nicht ganz erreichte, fiel bei den Methanpotentialen auf Grund der schlechteren Verdaulichkeit der für diese Berechnung maßgebenden Inhaltsstoffe deutlicher ab.

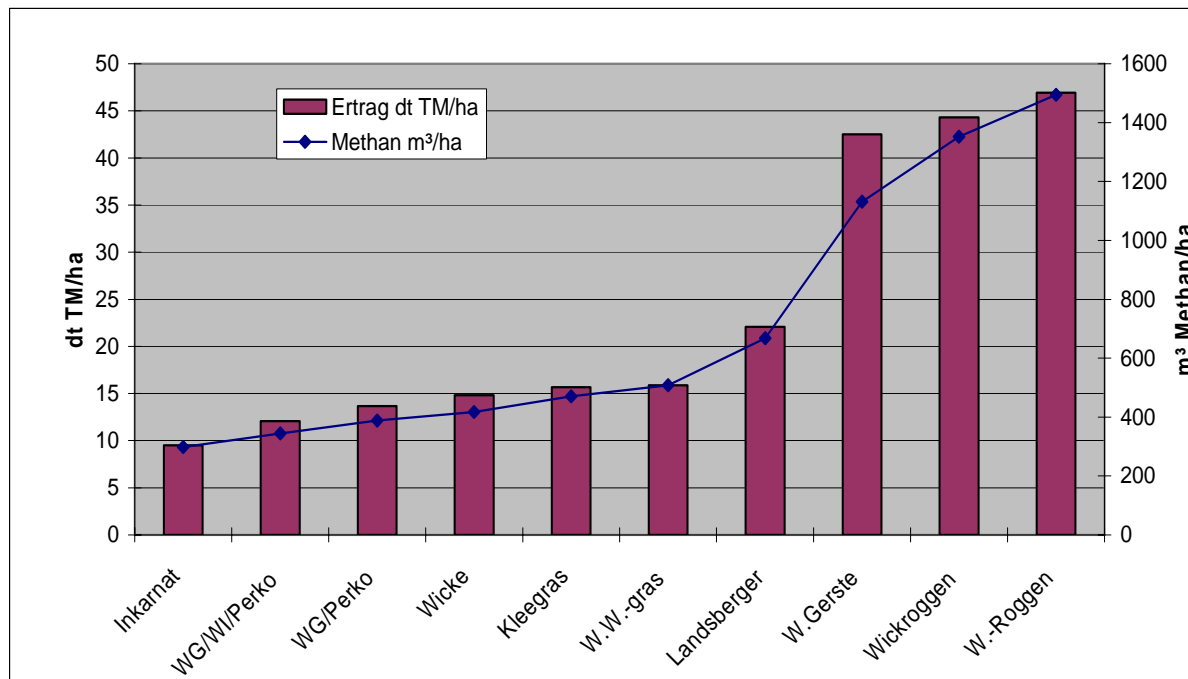


Bild 3: Erträge in dt TM/ha und m³ Methan/ha – Versuchsfeld Gülzow

Die übrigen in den Bild 2 und 3 dargestellten Reinsaaten und Gemenge lagen mit Methanpotentialen zwischen 300 und 700 m³/ha deutlich unter den zuvor besprochenen Varianten. Unterschiede zwischen den Standorten bei den Methanerträgen waren auf die Naturalerträge der jeweiligen Standorte und Varianten zurückzuführen.

Zur Sommerung 2006 wurde auch der Parallelversuch auf dem Versuchsstandort Gülzow durchgeführt. Von der Bodengüte wird dieser Standort, der folgend mit „Grenzstandort“ oder in den Abbildungen mit „Ackerzahl 25“ bezeichnet wird, besser eingeschätzt als das „Ökofeld“ (Ackerzahl 20). Zudem war die Verunkrautung nicht so hoch. Zu den Leitunkräutern zählten die *Kamille*, *Acker-Stiefmütterchen*, *Hirtentäschel*, *Acker-Hellerkraut*, *Weißer Gänsefuß* und *Acker-Krummhals*. Auf dem „Ökofeld“ fand sich in etwa dieses Spektrum, allerdings mit einem starken Auftreten der beiden letztgenannten Arten.

Die warme erste Maihälfte 2006 hat bei dem nicht ausreichend bestockten Sommergetreide zu einem schnellen Schossen und in der Folge zu geringen Bestandesdichten geführt. Das traf insbesondere für die *Haferbestände* zu. Die kühle zweite Maihälfte hat den *Mais* im Wachstum stark beeinträchtigt. Das Ende Mai gesäte *Sudangras* lief auf Grund der kühlen Witterung und wegen eines gewissen Wassermangels nur sehr verzögert auf. Die geringen Niederschläge im Juli konnten die vorangegangenen hohen Verdunstungsraten nicht ausgleichen. Beim *Mais* manifestierten sich Trockenschäden, besonders auf dem leichteren Boden.

Die Ernte der Ganzpflanze wurde im Laufe der ersten Julidekade und die Mais- und *Sudangrasernte* schließlich in der zweiten Septemberdekade durchgeführt. Die *Lupinen* konnten auf dem „Ökofeld“ weder in der Variante Ganzpflanze noch in der Variante Kör-

nerernte wegen Fraßschäden durch Hasen geerntet werden. Auch in den Gemengen wurden die Lupinenpflanzen geschädigt, fielen jedoch nicht komplett aus.

In **Bild 4** und **5** sind die Erträge in dt TM/ha und die rechnerischen Methanpotentiale m³/ha der Sommerung 2006 auf den Versuchstandorten „Grenzstandorte“ und „Ökofeld“ dargestellt. Die Erträge fielen mit einer Ausnahme grundsätzlich auf dem „Ökofeld“ deutlich geringer aus. Nur der *Bokharaklee* erreichte auf beiden Standorten ein vergleichbares Ertragsniveau von gut 70 dt TM/ha und 1850 m³ Methan/ha. Damit erzielte der *Bokharaklee* neben dem Gemenge *Mais/Bokharaklee* (74,5 dt TM/ha, 2078 m³ Methan/ha) die zweithöchsten Biomasseerträge. Höhere Methanerträge ergaben sich rechnerisch für das Getreidegemenge *Hafer/Sommergerste/Sommerroggen* (1879 m³ Methan/ha), *Mais* (2018 m³ Methan/ha) und *Sommerroggen* (1955 m³ Methan/ha). *Hafer* und *Sommergerste* in Reinsaat fielen mit 53,8 bzw. 52,8 dt TM/ha und 1580 und 1369 m³ Methan/ha deutlich hinter den fünf erstgenannten Varianten ab. Die drei Gemenge *Lupine/Bokharaklee/Sommergerste*, *Lupine/Sommergerste* und *Lupine/Saflor/Sommergerste* ordneten sich mit Biomasseerträgen von 50,5 bis 53,4 dt TM/ha und 1303 bis 1450 m³ Methan/ha dazwischen ein. Die Erträge von *Saflor* in Reinsaat und dem Gemenge *Hafer/Bokharaklee* fielen dahinter nochmals ab, was bei dem Gemenge damit zu begründen war, dass eine Schnitthöhe von 20 cm gewählt wurde, um dem *Bokharaklee* als zweijährige Pflanze eine Regeneration zu ermöglichen.

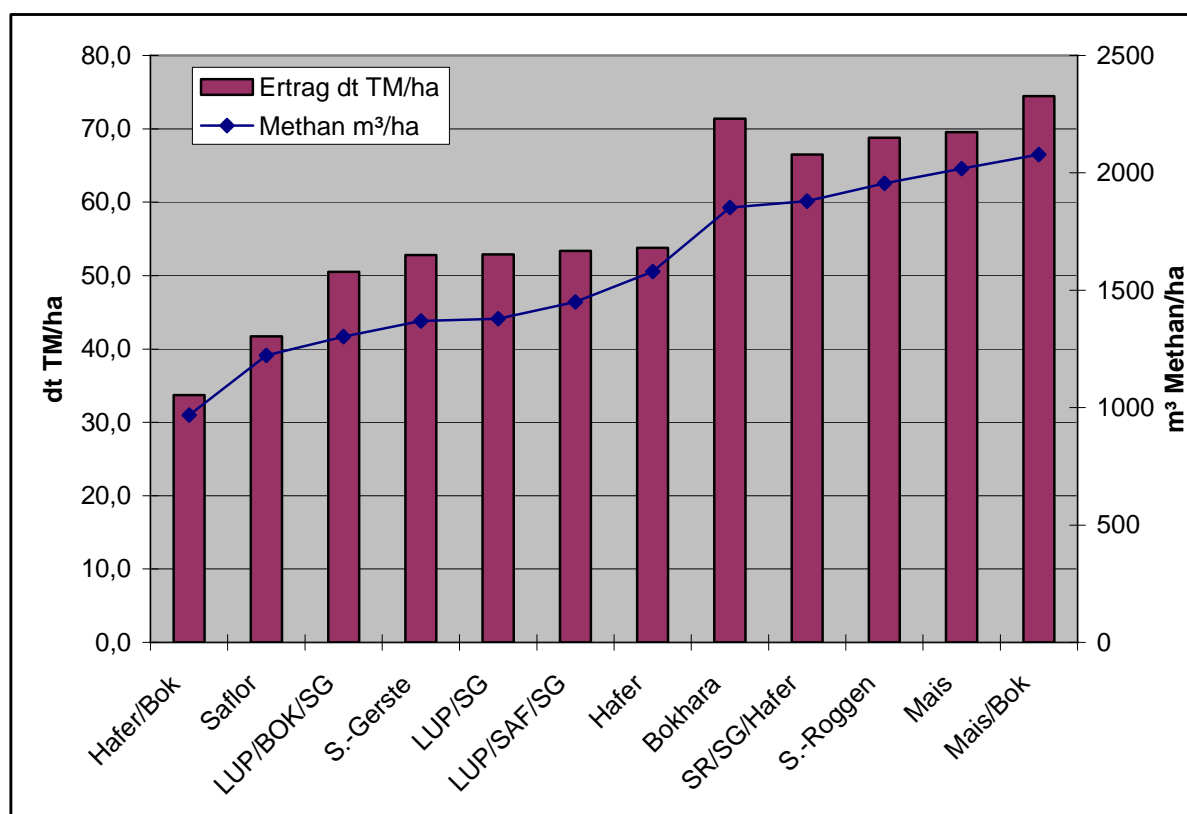


Bild 4: Erträge in dt TM/ha und m³ Methan/ha – Gülzow (Ackerzahl 20)

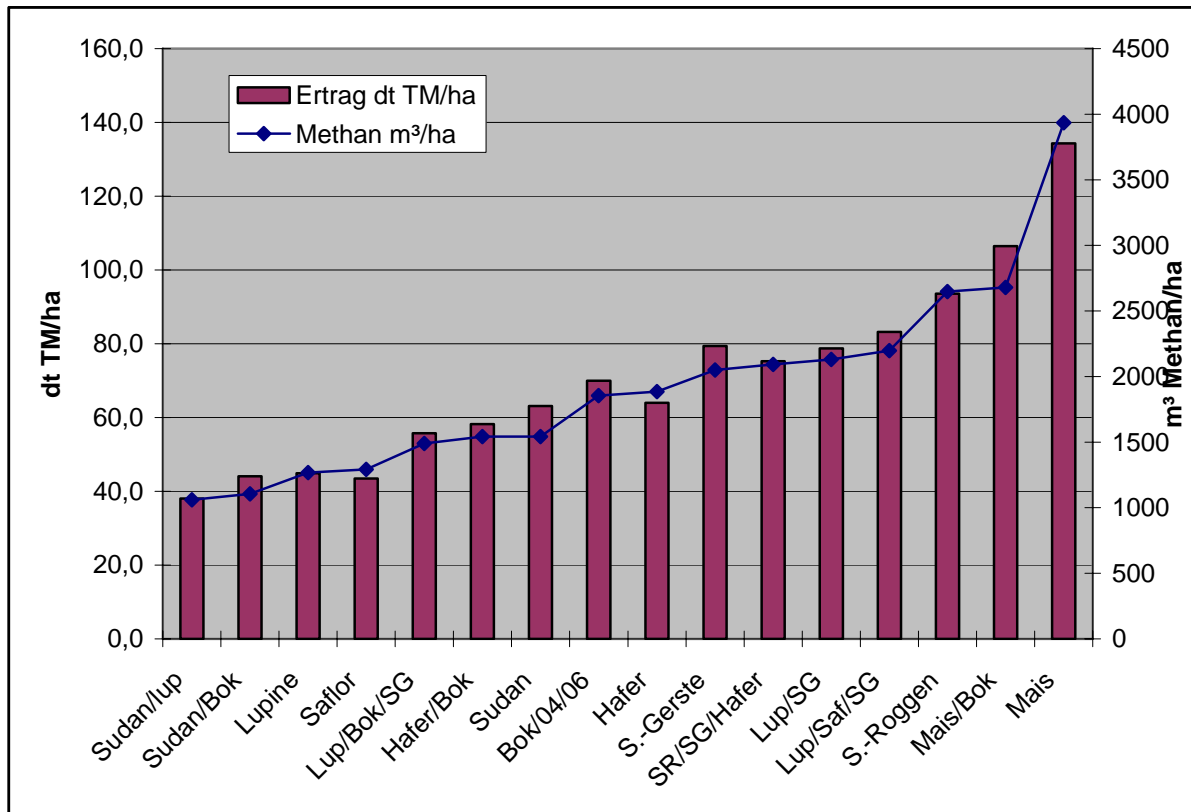


Bild 5: Erträge (dt TM/ha) und m³ Methan/ha – Grenzstandort (Ackerzahl 25)

Auf der Versuchsanlage Grenzstandorte bestätigen sich das Ergebnis des Vorjahres, das der *Mais* auf sandigen Böden, auch bei für diese Kultur ungünstigen Wasserverhältnissen die mit Abstand höchsten Biomasse- (134,4 dt TM/ha) und Methanerträge (3934 m³/ha) zu liefern imstande ist. Das Gemenge *Mais/Bokharaklee* hatte bei höheren Biomasseerträgen (106,4 dt TM/ha) in etwa das Methanertragspotential der Reinsaat *Sommerroggen* (93,6 dt TM/ha, ca. 2650 m³ Methan/ha). Die Getreidereinsaaten *Hafer* und *Sommergerste* sowie das Getreidegemenge hatten Biomasseerträge zwischen 64 und 79,4 dt TM/ha und rechnerische Methanbildungsraten von 1885 bis 2093 m³ Methan/ha. Anders als auf dem „Ökofeld“, hatte sich die *Lupine* in Reinsaat und auch in den Gemengen auf dem vor Wildtieren besser geschützten „Grenzstandort“ besser entwickeln können. In Reinsaat hatte sie mit dem *Saflor* und den Gemengen *Sudangras/Bokharaklee* und *Sudangras/Lupine* bei Biomasseerträgen um die 40 dt TM/ha ein rechnerisches Methanbildungsvermögen von 1268 m³ Methan/ha. Die beiden *Lupinengemenge* *Lupine/Sommergerste* und *Lupine/Saflor/Sommergerste* ordneten sich vom Ertrag mit 78,7 und 83,3 dt TM/ha (2132 und 2197 m³ Methan/ha) hinter dem *Sommerroggen* ein. Die *Lupine/Bokharaklee/Sommergerste*-Mischung fiel mit 55,7 dt TM/ha (1490 m³ Methan/ha) deutlich dahinter ab. Das *Sudangras*, mit den bereits geschilderten Problemen zum Auflauf, erreichte 63,1 dt TM/ha (1543 m³ Methan/ha) und lag damit im Ertragsniveau unter dem *Bokharaklee*.

Wirtschaftlichkeit

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der 2005/2006 untersuchten Varianten wurde die Produktionsschwelle (LEHMANN 2005) errechnet. Wichtiges Entscheidungskriterium für die Wirtschaftlichkeit ist die Produktionsschwelle pro Dezitonne Trockensubstanz bzw. Silage. Diese errechnet sich aus Summe von Direktkosten und Nutzungskosten im Verhältnis zum Naturalertrag. Die Nutzungskosten, die nicht bei den Winterzwischenfrüchten, sondern nur bei den Hauptfrüchten in Ansatz gebracht werden, resultieren aus dem unterstellten, verloren gegangenen Gewinn durch den Verkauf von Marktfrüchten. Insofern ist bei der Bewertung der Produktionsschwelle zu beachten, dass sie standortabhängig ist. Zwar sind die in Parzellenversuchen ermittelten Naturalerträge in der Regel höher, jedoch bietet die Produktionsschwelle eine gute Vergleichbarkeit der geprüften Fruchtarten untereinander. Auch berücksichtigt die Produktionsschwelle nicht die möglichen Biogaserträge, da diese sowohl vom Ausgangssubstrat, als auch von der Anlagenführung abhängig sind.

Wie aus den **Tabellen 3** und **4** ersichtlich wird, bestehen bei den untersuchten Varianten bezüglich der Produktionsschwelle große Unterschiede. Auffällig hoch ist die berechnete Produktionsschwelle für die Winterzwischenfrüchte bei den Varianten *Perko*, *Welsches Weidelgras* und deren Gemenge, die mit Jahreseffekten zu erklären sind. Ergänzend muss auch erwähnt werden, dass Folgeschnitte beim *Ackergras* und *Kleegras* auf Grund der Trockenheit nicht möglich waren. Bei den Gemengen mit *W-Wicke* wirken sich auch die hohen Saatgutkosten negativ auf die Produktionsschwelle aus.

Tabelle 3: Produktionsschwelle der Winterzwischenfrüchte

Standort	€/dt Trockenmasse		€/dt Silage	
	AZ20	AZ25	AZ20	AZ25
Futterroggen	5,90	5,31	1,89	1,70
Futterroggen (Herbizid)	6,64	5,84	2,12	1,87
W.-Gerste GPS (Herbizid)	8,95	6,05	2,87	1,93
Wickroggen	7,79	6,58	2,49	2,10
F.-roggen+Bokharaklee	7,78	6,68	2,49	2,14
W.-Gerste GPS	10,56	10,28	3,38	3,29
Kleegras	16,03	14,75	5,13	4,72
Welsches Weidelgras	16,21	15,11	5,19	4,83
Landsberger Gemenge	13,76	16,59	4,40	5,31
Perko+W.Gerste+W.-Wicke	25,97	16,83	8,31	5,38
Perko+W.-Gerste	20,14	18,69	6,45	5,98
Perko	24,8	28,74	7,93	9,20

Tabelle 4: Produktionsschwelle der Sommerfrüchte

Standort			€/dt Trockenmasse		€/dt Silage	
			AZ20	AZ25	AZ20	AZ25
Roggen			6,74	5,13	2,16	1,64
Mais			10,01	5,63	3,20	1,80
Bokharaklee			5,42	6,03	1,73	1,93
Gerste			8,77	6,06	2,81	1,94
Roggen	Gerste	Hafer	7,37	6,34	2,36	2,03
Mais	Bokhara		9,04	6,51	2,89	2,08
Lupine	Saflor	Gerste	10,09	6,7	3,23	2,14
Lupine	Gerste		10,13	7,03	3,24	2,25
Hafer			8,62	7,35	2,76	2,35
Sudangras				8,14		2,61
Hafer	Bokhara		13,69	9,44	4,38	3,02
Lupine	Bokhara	Gerste	10,42	9,50	3,33	3,04
Lupine				11,41		3,33
Saflor			11,56	11,12	3,7	3,56
Sudangras	Bokharaklee			11,21		3,59
Sudangras	Lupine			13,80		4,42

Auf Grund der Produktionsschwelle besser zu beurteilen sind die Reinsaaten von *W.-Roggen* und *W.-Gerste*. Während beim *Futterroggen* die Variante ohne Herbizid günstiger ist, werden die Aufwendungen für den Herbizideinsatz bei der *W.-Gerste* durch höhere Naturalerträge ausgeglichen. Bei dem Vergleich der Standorte fällt auf, dass auf den leichteren Böden die *Roggengemenge* die *W.-Gerste* Variante verdrängen.

Zur Feststellung der Nutzungskosten dient als Bezugsgröße bei den Sommerfrüchten der derzeitige Marktpreis für Getreide. Dieser beläuft sich auf 150 €/ha.

Für die Reinsaaten *S.-Roggen*, *S.-Gerste* und das Getreidegemenge errechnen sich neben den Varianten *Bokharaklee* und *Mais* die günstigsten Produktionsschwellen. Auffällig ist die relativ günstige Bewertung der *Lupinen*-Gemenge trotz hoher Saatgutkosten. Bei dem Vergleich der Standorte fällt auf, dass die Variante *Bokharaklee* auf den Versuchsfeld AZ 20 die Getreidesilagen verdrängt.

Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse sind als vorläufige Werte zu betrachten. Nach Versuchsabschluss ist unter Einbeziehung mehrjähriger Versuchsergebnisse eine abschließende Beurteilung des Mischfruchtanbaus auf sandigen Böden zur Biomasseproduktion möglich.

Literatur

- BECKER M., NEHRING K. (1969):** Handbuch der Futtermittel. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- DLG (1997):** Futterwerttabelle Wiederkäuer, 7. Auflage.
- GRUBER H., THAMM U., BURMANN B. (2004):** Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen, ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Forschungsbericht (23/02/00/04), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- KARPENSTEIN M., STÜLPNAGEL R. (2000):** Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and Soil*, 28: 1/2, S. 215-232.
- MAKOWSKI N. (2005):** Pflanzenbaurat; Bauern Zeitung, Mecklenburg-Vorpommern, 47. Woche, S. 8.
- MAKOWSKI N. (2006):** unveröffentlicht.
- MENNING P., SCHEIL A. (1995):** Bodendeckencharakter Ökofeld Gülzow/ Mecklenburg. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M/V, Heft 8, S. 1–4.
- RADEMACHER B. (1949):** Unkrautbekämpfung durch Fruchtfolgemaßnahmen. Neue Mitteilungen für die Landwirtschaft, Heft 18, S. 252-253.
- SCHATTAUER A., WEILAND P. (2005):** Grundlagen der anaeroben Fermentation; Handreichung Biogasgewinnung und –Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow, S. 25-35.

Einfluss der Silierung auf die Biogasbildung - Aktuelle Forschungsergebnisse

Impact of ensiling process on biogas production – recent research results

Christiane Herrmann ^a, Monika Heiermann ^a, Christine Idler ^b, Volkhard Scholz ^c
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 4469 Potsdam
E-Mail: cherrmann@atb-potsdam.de

^a Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe

^b Abteilung Bioverfahrenstechnik

^c Abteilung Aufbereitung, Lagerung und Konservierung

Kurzfassung

Die Effizienz der Substratbereitstellung (Anbau, Ernte, Konservierung und Lagerung) für die Biogasproduktion wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, die ein hohes Optimierungspotenzial aufweisen. Neben Pflanzeigenschaften, die durch Boden und Klimabedingungen modifiziert werden können, haben verfahrenstechnische Faktoren und Managementmaßnahmen einen bedeutenden Einfluss auf das Ertragspotenzial und den betrieblichen Erfolg. Eine zentrale Rolle nimmt die qualitätsgerechte Silagebereitung der pflanzlichen Biomassen ein. Ansatzpunkte für eine Optimierung bieten im Rahmen der Verfahrensgestaltung Sorten, Ernte, Siliertechnik, Silierhilfsmittel und Lagerung. Dabei sind Wechselwirkungen zwischen dem Einfluss verschiedener Parameter auf die Silierung und auf die Biogasproduktion zu beachten. Im Rahmen des Verbundprojektes „EVA“ werden umfangreiche Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Silierparameter und der Substratqualität auf die Biogasbildung durchgeführt.

Erste Ergebnisse aus Laborversuchen zeigen, dass die Höhe an Fermentationsverlusten für die Bewertung von Methanausbeuten eine wesentliche Rolle spielt. Mit abnehmender Gärqualität nehmen Verluste zu, was zu einer deutlichen Minderung des Gasbildungspotenzials führt. Durch Zusatz von biologischen Siliermitteln konnten in Laborversuchen Verluste bei der Silierung von Mais verringert und die Methanausbeute deutlich erhöht werden. Silagen wiesen zudem häufig höhere Methanausbeuten auf als entsprechend unsiliertes Material. Dies lässt einen Aufschlusseffekt durch den Silierprozess vermuten, der durch längere Lagerzeiten verstärkt wird. Eine Konservierung durch Silagebereitung kann auch als Vorbehandlung des Substrates für die Biogasproduktion angesehen werden.

Schlüsselwörter: Biogas, Methan, Energiepflanzen, Silage

Einleitung

Für hohe Biogasausbeuten und den wirtschaftlichen Betrieb von Biogasanlagen spielt insbesondere beim Einsatz von Energiepflanzen die Bereitstellung der Substrate eine große Rolle. Dabei sind nicht nur Anbau und Ernte, sondern auch die Konservierung und Lagerung des Pflanzenmaterials für die kontinuierliche, ganzjährige Beschickung der Biogasanlage von wesentlicher Bedeutung.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe geförderten Verbundprojektes „EVA“ („Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (GÖDEKE *et al.* 2006) werden in einem Teilprojekt am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) umfangreiche Laboruntersuchungen zur Wirkung verschiedener Silierparameter und der Substratqualität auf die Biogasbildung durchgeführt.

Silagebereitung für die Biogasproduktion

Eine Konservierung der pflanzlichen Biomasse ist notwendig, um ganzjährig Substrate für die Biogasanlage zur Verfügung stellen zu können. Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss der Konservierungsform auf das Methanpotenzial von Energiepflanzen liegen nicht vor. Aus der Futtermittelkunde ist allerdings bekannt, dass in Abhängigkeit des jeweiligen Konservierungsverfahrens unvermeidbare niedrige bzw. hohe Nährstoffverluste auftreten: am günstigsten ist diesbezüglich die Silage zu bewerten. Zur Silagebereitung eignen sich Pflanzen bzw. Pflanzenteile mit einem ausreichenden Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, einer niedrigen Pufferkapazität und einem Trockenmassegehalt von über 20 % (DLG-PRAXISHANDBUCH 2006). Vorteile des Silierens im Vergleich zu anderen Verfahren sind geringerer Arbeitsaufwand, größere Unabhängigkeit von der Witterung sowie der bereits aufgeführte geringere Nährstoffverlust. Infolgedessen stellt die Silagebereitung gegenwärtig das übliche Konservierungsverfahren in der Substratbereitstellung für die Biogasproduktion dar.

Das Verfahren der Silagebereitung ist aus der Futtermittelkunde hinreichend bekannt, jedoch in wesentlichen Teilschritten noch nicht optimiert, wenn die Silage als Substrat für die Biogasproduktion eingesetzt werden soll. Ansatzpunkte für eine Optimierung bieten im Rahmen der Verfahrensgestaltung Sorten, Ernte (Erntezeitpunkt), Siliertechnik (Häcksellänge, Einlagerungsverfahren), Einsatz geeigneter Siliermittel und Lagerung (Silierdauer). Dabei sind Wechselwirkungen zwischen dem Einfluss verschiedener Parameter auf die Silierung und auf die Biogasproduktion zu beachten. Hierzu liegen in der Literatur bisher kaum Ergebnisse vor. Im Rahmen des o. g. Forschungsprojektes werden umfangreiche Untersuchungen und Bewertungen dieser Aspekte durchgeführt. Erste Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an ausgewähltem Pflanzenmaterial durchgeführt, welches aus den Fruchtfolgen des Verbundvorhabens stammt. In die Auswertungen wurden Proben aus den Versuchsjahren 2005 und 2006 der Pflanzenarten Mais (*Zea mays*), Gras (*Lolium perenne*), Luzerne (*Medicago sativa*), Roggen (*Secale cereale*), Gerste (*Hordeum vulgare*), Hafer (*Avena sativa*), Triticale (*X Triticosecale*), Sudangras (*Sorghum sudanense*), Sonnenblume (*Helianthus annuus*), Topinambur (*Helianthus tuberosus*) und Ölrettich (*Raphanus sativus var. oleiformis*) einbezogen. Proben für die Untersuchungen zum Einfluss der Silierdauer und der Siliermittelzugabe bei Mais (*Zea mays*) und Grünfutterroggen (*Secale cereale*) wurden in eigenen Praxisversuchen in Brandenburg gewonnen. Alle Proben wurden hinsichtlich ihrer Silierbarkeit und ihres Gasbildungspotenzials geprüft. Von den ausgewählten Proben wurden sowohl die Frischmassen als auch die in Modellsilierungsversuchen hergestellten Ganzpflanzensilagen (GPS) untersucht.

Für die Modellsilierung wurden 1,5 Liter Modellsilos (Tulpengläser der Fa. WECK) sowie eine Vorrichtung für die manuelle Verdichtung des Gutes eingesetzt (DLG-RICHTLINIEN 2000). Das Siliergut wurde nach der Zerkleinerung mittels des Laborhäckslers HEGE 44 (Fa. HEGE) ggf. mit Zusätzen vermischt, lagenweise in Gläser geschichtet und mittels einer selbstgebauten Apparatur verdichtet. Die Gläser wurden verschlossen bei 25°C gelagert. Nach 90 Tagen (bzw. 10, 90, 180, 365 Tagen) wurde das Gut ausgelagert und für die analytische Bearbeitung eingefroren.

Die Bewertung der Gärqualität der Silagen erfolgte anhand der Gehalte an organischen Säuren, Ethanol und Propanol, des pH-Wertes sowie der Trockenmasse (TM)- und organischen Trockenmasse (oTM)-Gehalte im konservierten Material. Ethanol, Propanol sowie ein Säurespektrum bestehend aus Essig-, Propion-, Butter-, iso-Butter-, Valerian-, iso-Valerian- und Capronsäure wurden mittels Gaschromatographie (Fa. FISIONS) gemessen. Die Bestimmung von Milchsäure erfolgte mittels HPLC (Fa. DIONEX). Der pH-Wert wurde mit dem pH-Messgerät Sen Tix 41 (Fa. WTW) nach Suspendierung von 10 g Pflanzenmaterial in 100 ml destilliertem Wasser gemessen. Der Trockenmassegehalt wurde durch Trocknen der Proben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Die TM-Gehalte der Silagen wurden in Abhängigkeit vom pH-Wert um flüchtige organische Bestandteile nach WEISSBACH *et al.* (1995) korrigiert. Die Bestimmung des oTM-Gehaltes erfolgte durch Veraschung von getrocknetem Probenmaterial bei 550°C im Muffelofen.

Siliermittel wurden nur bei dem Versuch zur Bestimmung des Einflusses der Siliermittelzusätze auf die Biogasproduktion eingesetzt. Bei den Siliermitteln wurden ein chemischer Zusatz der Fa. Addcon (MAIS KOFASIL) und biologische Starterkulturen verwendet. Als biologische Zusätze kamen SILASIL ENERGY (Fa. Lactoferm), BON-SILAGE PLUS (Fa. Schaumann) und BIOSIL (Fa. Pieper) zur Anwendung. Alle Siliermittel kamen gemäß Anwendungshinweisen der jeweiligen Präparate zum Einsatz. Eine unbehandelte Kontrolle wurde stets mit einsiliert.

Die Gasbildungspotenziale wurden in Batch-Gärtests nach VDI 4630 (2006) ermittelt. Hierfür wurden 2-Liter-Faulflaschen mit 1500 g Inoculum, welches aus den Gärresten vorangegangener Gärtests mit Energiepflanzen bestand, und 50 g Probe gefüllt. Alle Versuchsansätze wurden mittels Wasserbad auf 35°C konstant gehalten. Die Menge des produzierten Biogases wurde in den kalibrierten Gasmäusen aufgefangen und täglich abgelesen. Aus der gefüllten Gasmaus wurde mit einem Gasanalysator GA 94 (Fa. ANSYCO) der Gehalt an Methan und anderer Gaskomponenten erfasst. Die Summe der im Versuchszeitraum von 30 Tagen ermittelten Biogas- bzw. Methanmenge diente zur Berechnung der pflanzenspezifischen Biogas- bzw. Methanpotenziale. Die gemessenen Volumina wurden auf trockenes Gas, eine Temperatur von $T_0=273,15$ K und einem Druck von $p_0=1013,25$ hPa normiert. Für die Bewertung der Methangehalte im Biogas wurde eine Kopfraumkorrektur entsprechend VDI 4630 durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Einfluss des Silierprozesses auf die Methanausbeute

Während des Silierens werden mit Hilfe von Milchsäurebakterien unter Luftabschluss pflanzeeigene Kohlenhydrate in konservierende Säuren umgesetzt. Diese organischen Säuren, stehen dem Prozess der Methanbildung zur Verfügung und können z. T. direkt von den methanogenen Bakterien verwertet werden, wie z. B. Essigsäure. Produkte der Silierung sind jedoch auch Gase, welche aus dem Silo diffundieren und für den Prozess der Methanisierung nicht zur Verfügung stehen. Hauptprodukt ist dabei Kohlendioxid (CO_2), welches vorwiegend durch Restatmung und bei der Milchsäuregärung freigesetzt wird (PAHLOW *et al.* 2003). Als weitere gasförmige Produkte können Wasserstoff (H_2), Stickoxide und Ammoniak (NH_3) entstehen. Fermentationsverluste können durch fachgerechte Silierung gemindert, jedoch nicht vermieden werden und verringern das Methanbildungspotenzial des geernteten Gutes. Die Höhe der Fermentationsverluste ist insbesondere abhängig von Pflanzenart, TM-Gehalt, Reifestadium, Silotyp, Häcksellänge und Grad der Verdichtung im Silo (PAHLOW *et al.* 2003).

Bild 1 zeigt mittlere Methanausbeuten verschiedener Pflanzenarten (222-350 NI/kg oTM_{orig}) ohne und unter Berücksichtigung von Fermentationsverlusten. Basis für die Methanausbeuten, welche Verluste einbeziehen, ist der oTM -Gehalt des frisch geernteten Ausgangsmaterials (oTM_{orig}). Im Gegensatz dazu basieren die Methanausbeuten ohne Berücksichtigung der Verluste auf dem tatsächlichen oTM -Gehalt des silierten Materials. Durch oTM -Verluste erfolgte eine Minderung der Methanausbeute differenziert nach Pflanzenart Mittel um 2 bis 21 %. Höchste oTM -Verluste durch die Silierung wurden bei Luzerne-Gras-Mischungen, Futter- und Sommerroggen gemessen. Proben des Futter- und Sommerroggens wiesen durch sehr frühe bzw. späte Ernte und damit verbunden durch einen TM-Gehalt von zum Teil < 20 % bzw. > 40 % ungünstige Bedingungen für die Silierung auf. Die Folge waren Silagen mit teilweise schlechten Gärqualitäten durch erhöhte Buttersäuregehalte bzw. Schimmelbildung. Die Rolle der Gär-

qualität für die Methanausbeute wird auch im nächsten Abschnitt erläutert. Die erhöhten Verluste bei den Luzerne-Gras-Mischungen können auch auf einen verstärkten Proteinabbau während des Silierprozesses zurückgeführt werden. In den Silagen wurden verhältnismäßig hohe Anteile des $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N gemessen.

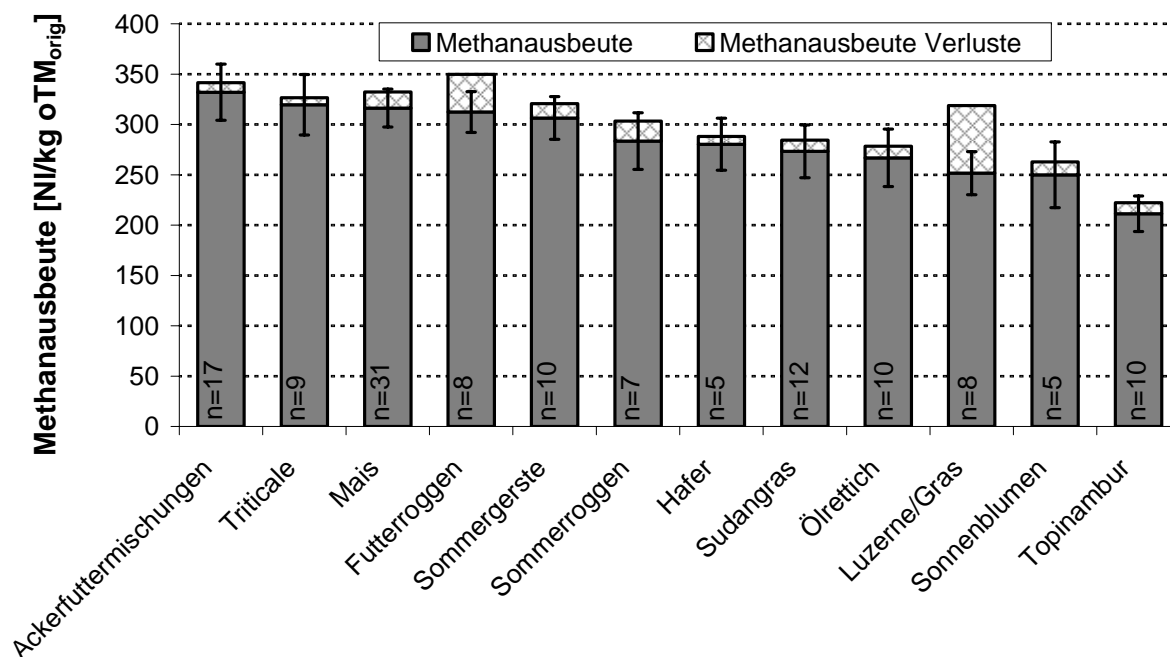


Bild 1: Vergleich mittlerer Methanausbeuten verschiedener Pflanzenarten (Mittelwerte und Standardabweichungen) unter Berücksichtigung von Fermentationsverlusten nach 90 Tagen im Modellsilo

Um den Einfluss des Silierprozesses auf die Methanausbeute zu charakterisieren, wurde weiterhin die Methanbildung von frischem und siliertem Pflanzenmaterial verglichen. Hierbei fällt auf, dass trotz Beachtung der Fermentationsverluste die Methanausbeuten der Silagen häufig höher liegen als die Methanausbeuten des frischen Materials (Methanausbeute-Verhältnis unsiliert:siliert < 1; **Bild 2**). Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Pflanzenart oder TM-Gehalt und Änderung der Gasausbeute durch die Silierung ist jedoch nicht festzustellen. Die Methanausbeute-Verhältnisse von > 1 und < 1 liegen für verschiedene Pflanzenarten und über einen weiten TM-Bereich vor.

Ergebnisse zu teilweise höheren Gasausbeuten des silierten Materials im Vergleich zum frischen Material sind auch in der Literatur zu finden (ZUBR 1986, NEUREITER *et. al* 2005). Grund hierfür können Aufschlussprozesse während der Silierung sein, die sich auf die chemische Zusammensetzung des Substrates sowie auf die Verfügbarkeit der im Pflanzengewebe eingebundenen Nährstoffe auswirken. Daher kann die Silierung auch als Vorbehandlung angesehen werden (POUECH *et. al* 1998).

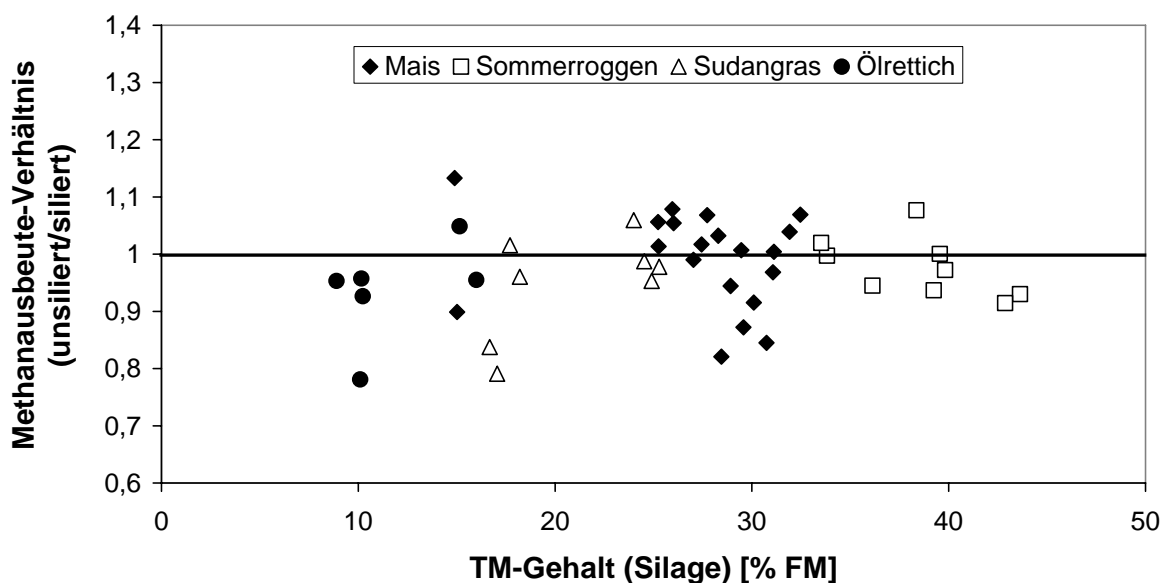


Bild 2: Verhältnis der Methanausbeuten (unsiliert/siliert) ausgewählter Pflanzenarten in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt

Einfluss der Gärqualität von Silagen auf die Methanausbeute

Die Gärqualität von Silagen kennzeichnet den Konservierungserfolg durch Milchsäuregärung und wird mit Hilfe der in der Silage quantifizierten, unerwünschten Stoffabbauprodukte bestimmt. Die Benotung der Gärqualität stammt aus der Futtermittelkunde und wird üblicherweise nach DLG-Schlüssel durchgeführt: Buttersäure- und Essigsäuregehalte in Verbindung mit TM-Gehalt und pH-Wert werden durch Punktzahlen bewertet und aus der Gesamtpunktzahl wird ein zusammenfassendes Urteil abgeleitet. Es liefert vornehmlich Hinweise auf die Lagerstabilität der Silage unter anaeroben Bedingungen und das Ausmaß der entstandenen Nährstoffverluste (DLG-SCHLÜSSEL 2006).

Die in Laborversuchen erzeugten Silagen verschiedener Pflanzenarten aus den Fruchtfolgen des „EVA“-Projektes wurden zum großen Teil mit „guter“ bis „sehr guter“ Gärqualität bewertet. Lediglich Sonnenblumen-, Sommergetreide- (Sommerroggen, Sommergerste, Hafer) und Ölrettich-GPS wiesen z. T. eine geringe Gärqualität auf, was u. a. auf geringe oder verhältnismäßig hohe TM-Gehalte zurückzuführen ist (**Tabelle 1**). Der Erntetermin stellt demnach neben seiner Bedeutung für die Biogasproduktion auch aus Sicht der Silierbarkeit einen wesentlichen Aspekt bei der Aufstellung und Bewertung von Energiefruchtfolgen dar. In Tabelle 1 sind am Beispiel der untersuchten Ölrettich- und Sommerroggen-GPS die analytischen Daten zur Bewertung der Gärqualität aufgeführt. Bei den gut bis sehr gut bewerteten Silagen überwiegt die Milchsäure (MS) als Metabolit während eine schlechtere Bewertung auf erhöhte Butter- (BS) und Essigsäuregehalte (ES) und damit verbunden auf einer unzureichenden Absenkung des pH-Wertes beruht.

Tabelle 1: Gärqualität (nach DLG-Schlüssel) und Charakterisierung der Ölrettich- und Sommerroggen-GPS

Gärqualität	n	TM-Gehalt [% FM]	pH-Wert [-]	MS [% TM]	ES [% TM]	BS [% TM]	Alkohole [% TM]
Ölrettich							
sehr gut	4	13,3	3,7	10,0	2,4	0,0	0,8
gut	2	10,5	4,2	9,8	3,4	0,0	0,6
mittelmäßig	12	11,3	4,4	12,2	4,1	0,0	1,3
schlecht	0	-	-	-	-	-	-
sehr schlecht	2	9,9	5,7	4,2	4,7	6,1	2,7
Sommerroggen							
sehr gut	6	43,6	5,0	2,3	0,8	0,0	0,3
gut	0	-	-	-	-	-	-
mittelmäßig	5	39,2	4,8	1,8	0,6	0,3	0,5
schlecht	3	38,5	4,4	0,4	0,6	1,9	1,2
sehr schlecht	1	38,4	4,3	2,2	0,9	3,1	1,8

MS... Milchsäure; ES... Summe aus Essig- und Propionsäure;

BS... Summe aus Butter-, iso-Butter-, Valerian-, iso-Valerian- und Capronsäure;

Alkohole... Summe aus Ethanol und Propanol

Auf die Wichtigkeit einer guten Gärqualität von Silagen für hohe Biogasausbeuten wird sehr häufig hingewiesen, jedoch fehlen konkrete Ergebnisse zum Einfluss der Gärqualität auf die Höhe der Methanausbeute. In Untersuchungen von NEUREITER *et. al* (2005) erbrachten Maissilagen mit erhöhtem Buttersäuregehalt, welcher durch Zusatz von *Clostridium tyrobutyricum* erzielt wurde, sogar eine höhere Gasausbeute als die Kontrollsilage mit vorwiegender Milchsäuregärung. Die **Bilder 3a** und **3b** zeigen Ergebnisse zu den Methanausbeuten der Ölrettich- und Sommerroggensilagen gruppiert nach den Gärqualitäten, wie sie nach DLG-Schlüssel bewertet wurden. Zunächst wurden für die Ölrettich-GPS mit schlechter Gärqualität höhere Methanausbeuten gemessen als für Silagen mit guter Gärqualität. Bei Einrechnung der Fermentationsverluste, die bei den nicht optimal fermentierten Silagen deutlich höher waren als bei den „guten“ Silagen, wird jedoch offensichtlich, dass die Methanausbeute bezogen auf die oTM-Erntemenge mit abnehmender Gärqualität sinkt (Bild 3a). Die mittleren Methanausbeuten der als „sehr schlecht“ bewerteten Silagen lagen um 13 % niedriger als die Methanausbeuten der Silagen mit „sehr guter“ Gärqualität bei Berücksichtigung der Fermentationsverluste. Mit Ausnahme der als „schlecht“ eingestuften Silagen bestätigte sich auch bei den Sommerroggen-GPS dieser Trend (Bild 3b).

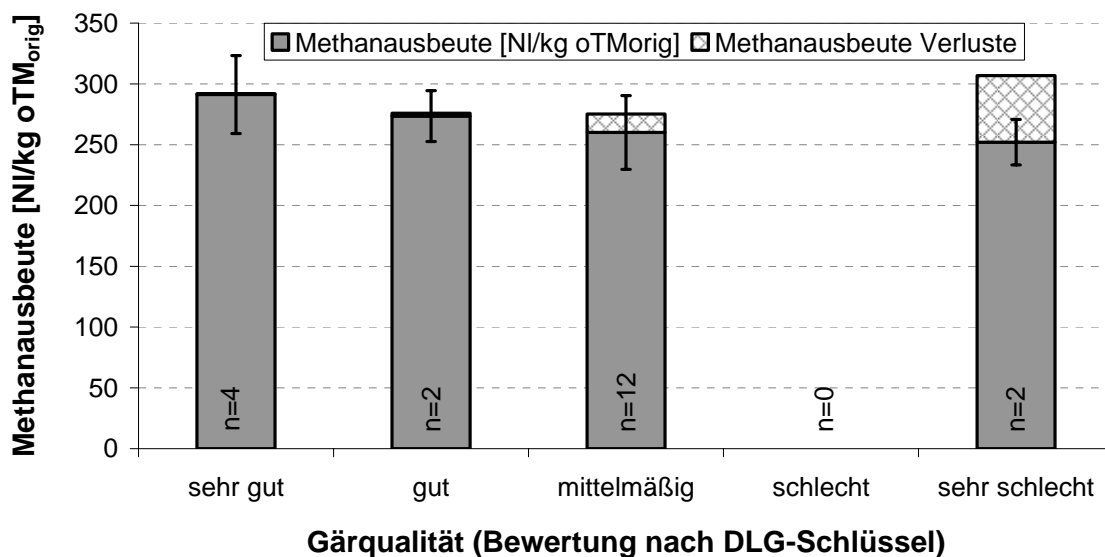


Bild 3a: Zusammenhang von Gärqualität und Methanausbeute bei Ölrettich

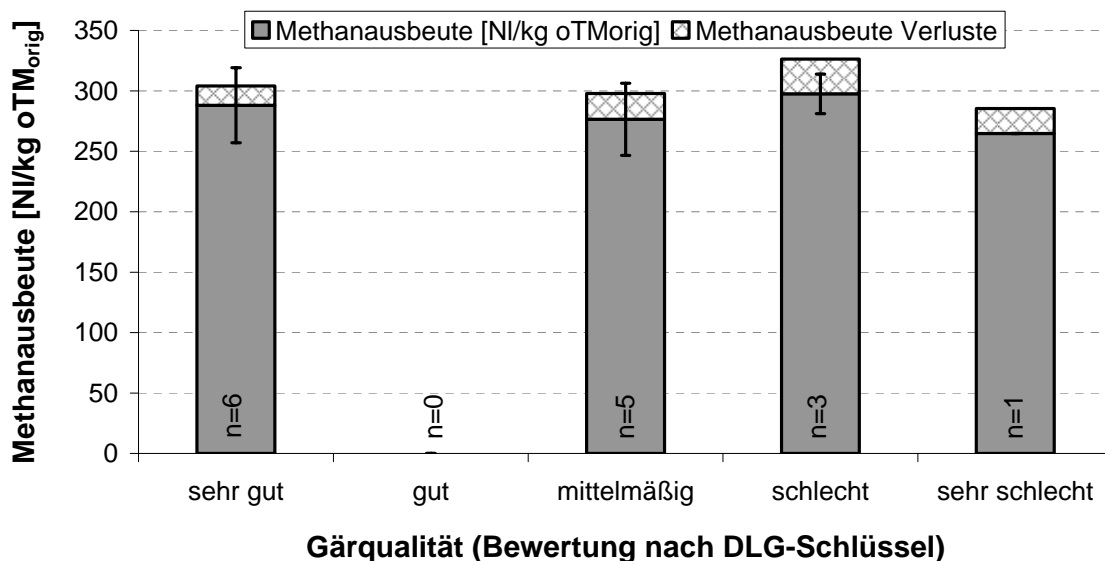


Bild 3b: Zusammenhang von Gärqualität und Methanausbeute bei Sommerroggen

Einfluss der Silierdauer auf die Methanausbeute

Gegenwärtig besteht noch Ungewissheit darüber, wie sich eine lange Lagerdauer der Silage im Silo auf die Gasausbeute auswirkt. Im Rahmen des Projektes wurden Untersuchungen zur Lagerdauer von 10 bis 365 Tage für Mais- und Grünfutterroggen-GPS durchgeführt (365 Tage für Futterroggen zur Zeit noch nicht abgeschlossen).

Die Ergebnisse der chemischen Charakterisierung der Mais-GPS zeigen (**Tabelle 2**), dass bei allen Silagen die Milchsäure als Produkt der Silierung überwiegt und für eine Absenkung des pH-Wertes verantwortlich ist. Mit zunehmender Lagerdauer nimmt der Gehalt an Essigsäure und Ethanol und Propanol leicht zu und der Anteil an Milchsäure ab. Gleichzeitig steigen die Silierverluste bei Mais bis auf 11 % nach 365 Tagen und bei Grünfutterroggen bis auf 10 % nach 180 Tagen an. Dies kann auf die fortlaufende Aktivität von heterofermentativen Milchsäurebakterien zurückgeführt werden, welche in der Lage sind, Milchsäure in Essigsäure umzusetzen.

Tabelle 2: Charakterisierung der Mais- und Grünfutterroggen-GPS nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modellsilo

Lagerdauer	n	TM-Gehalt [% FM]	pH-Wert [-]	MS [% TM]	ES [% TM]	BS [% TM]	Alkohole [% TM]
Mais							
10 Tage	3	15,3	3,5	9,3	1,6	0,0	0,1
90 Tage	3	15,2	3,3	7,3	2,7	0,1	0,4
180 Tage	3	14,8	3,8	8,2	4,7	0,0	0,6
365 Tage	3	14,4	3,6	6,9	5,9	0,4	1,7
Grünfutterroggen							
10 Tage	3	24,3	4,0	7,0	1,5	0,0	0,6
90 Tage	3	23,5	4,2	7,4	2,3	0,0	0,5
180 Tage	3	23,3	4,5	3,2	4,6	0,0	1,6

Die Methanausbeute verringert sich bei einer Lagerdauer der untersuchten Silagen bis zu einem Jahr unter anaeroben Bedingungen nicht (**Bild 4a, 4b**). Trotz höherer Verluste zeigt insbesondere der Futterroggen sogar einen leichten Anstieg der Methanausbeuten mit zunehmender Lagerdauer. Dies deutet erneut auf Aufschlussprozesse hin. Die Methangehalte im Biogas lagen bei dem siliertem Material jeweils um 1-2 % höher als bei unsiliertem Material (0 Tage Einlagerungsdauer). Da ein Teil der Hydrolyse, bei welcher CO₂ als Produkt entsteht, bereits während der Silierung stattfindet, kann sich daraus ein erhöhter Methananteil bei der Biogasproduktion ergeben (ZUBR 1986).

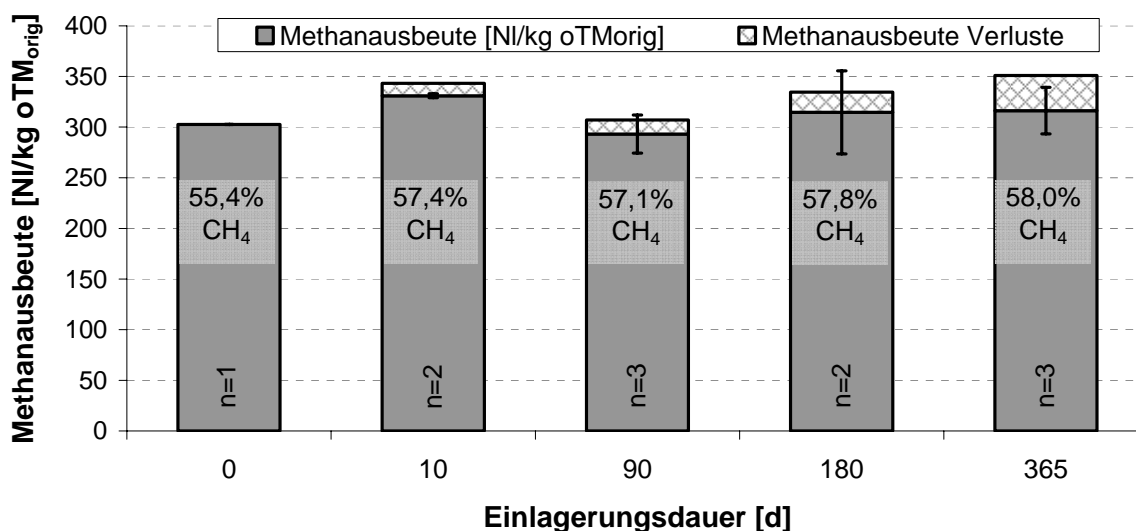


Bild 4a: Methanausbeuten von Maissilagen nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modellsilo

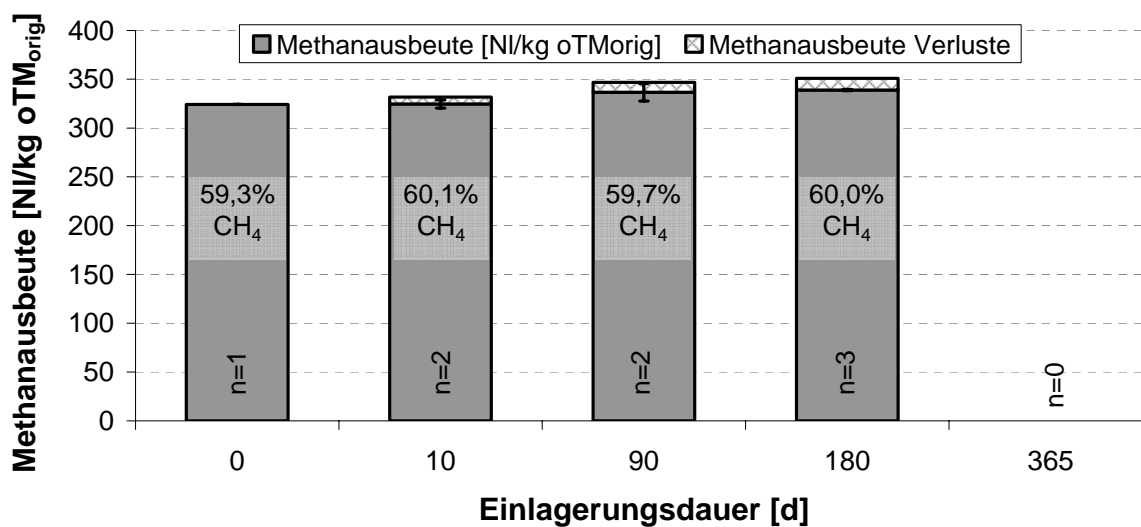


Bild 4b: Methanausbeuten von Grünfütterroggen-GPS nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modellsilo

Einfluss von Siliermittelzusätzen auf die Methanausbeute

Grundsätzlich werden Siliermittel eingesetzt, um den Gärverlauf in gewünschter Weise zu beeinflussen, die Gärqualität zu sichern bzw. auch zu verbessern. Im Rahmen unserer Untersuchungen kamen ein chemisches und drei biologische Produkte im Vergleich zur unbehandelten Variante bei Mais zum Einsatz, um mögliche Auswirkungen auf die Biogasausbeute und -qualität zu erfassen.

In der Maissilage ohne Zusatz von Siliermitteln wurden relativ geringe Milchsäuregehalte sowie 1,1 % der TM Buttersäure ermittelt (**Tabelle 3**). Die Silagen, welche unter Zusatz des chemischen bzw. der biologischen Siliermittel konserviert wurden, waren durchgehend buttersäurefrei. Der Zusatz von SILASIL ENERGY, welches homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien enthält, bewirkte eine vermehrte Essigsäurebildung und nur geringe Gehalte an Milchsäure in der Maissilage.

Tabelle 3: Charakterisierung der Mais-GPS unter Anwendung von Siliermitteln nach 90 Tagen im Modellsilo

Siliermittel	n	TM-Gehalt [% FM]	pH-Wert [-]	MS [% TM]	ES [% TM]	BS [% TM]	Alkohole [% TM]
ohne Zusatz	3	35,0	3,6	2,7	1,1	1,1	1,3
MAIS KOFASIL	3	34,2	3,5	2,8	3,3	0,0	1,2
BIOSIL	3	36,4	3,3	4,8	0,5	0,0	1,1
BON SILAGE +	3	34,9	3,6	2,8	0,3	0,0	0,0
SILASIL ENERGY	3	36,5	3,9	0,8	3,7	0,0	1,3

Die oTM-Verluste waren bei den biologischen Zusätzen sehr gering und lagen bei der Variante ohne Siliermittel bei 4,1 % und mit MAIS KOFASIL bei 4,6 %. Durch Zugabe von Siliermitteln konnte die Methanausbeute von Maissilage gesteigert werden (**Bild 5**). Der Zusatz von biologischen Siliermitteln war hinsichtlich der Methanausbeute vorteilhaft gegenüber den übrigen Varianten. Höchste Methanausbeuten wurden mit dem Siliermittel SILASIL ENERGY erzielt, das speziell für die Anwendung zur Konservierung von Biogaspflanzen konzipiert wurde.

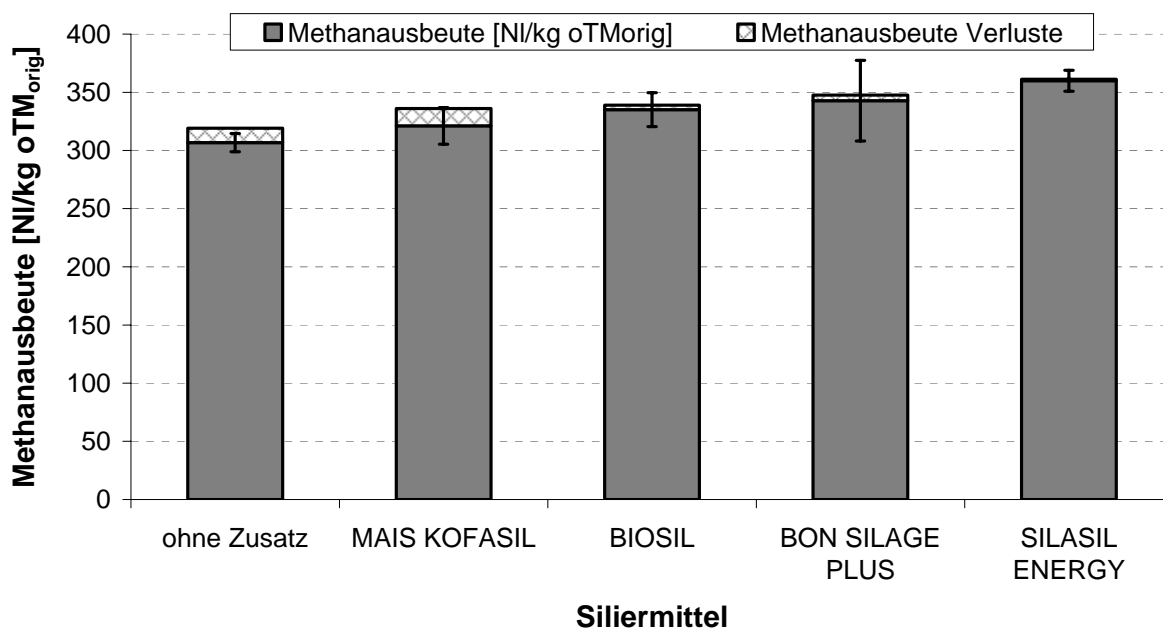


Bild 5: Einfluss des Silierungsmittelzusatzes auf die Methanausbeute von Mais-GPS unter Berücksichtigung von Fermentationsverlusten nach 90 Tagen im Modellsilo (n=2)

Schlussbetrachtung

Die Effizienz der Substratbereitstellung (Anbau, Ernte, Konservierung und Lagerung) für die Biogasproduktion wird von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, die ein hohes Optimierungspotenzial aufweisen. Neben Pflanzeigenschaften, die durch Boden und Klimabedingungen modifiziert werden können, haben verfahrenstechnische Faktoren und Managementmaßnahmen einen bedeutenden Einfluss auf das Ertragspotenzial und den betrieblichen Erfolg. Eine zentrale Rolle nimmt hier die qualitätsgerechte Konservierung der pflanzlichen Biomassen ein: Silagebereitung ist ein komplexer und anspruchsvoller Prozess und der Einfluss auf die Biogasproduktion ist sehr vielschichtig. Da der Methanertrag nicht nur durch die Pflanzenart sondern auch durch den Erntezeitpunkt beeinflusst wird, ist dies bei der Gestaltung der Anbausysteme (z. B. Zweikulturnutzung) sowie der Fruchtfolge zu berücksichtigen. Außerdem hat der Erntezeitpunkt einen bestimmenden Einfluss auf die Silagequalität und den maximalen Methanertrag pro kg oTM. Da eine Erhöhung des TM-Gehaltes in der Pflanze zu einer Abnahme der Siliereignung des Pflanzenmaterials führt, ist ein Kompromiss hinsichtlich Pflanzenertrag (TM-Ertrag) und Pflanzenqualität (Vergärbarkeit) zu schließen. Weiterhin hat die Siliertechnik einen erheblichen Einfluss auf den Energiegehalt und den Hygienestatus. Durch Gewährleistung bestmöglicher Bedingungen in Bezug auf sachgerechte Einlagerung (z. B. Sickersaft), Verdichtung (z. B. Häcksellänge), Abdeckung, Entnahme und Substratvorlage (z. B. aerobe Stabilität) sind die Qualität des geernteten Pflanzenmaterials zu bewahren und Masseverluste zu vermeiden. Insofern ist der Einsatz von Silierungsmitteln nicht nur in der Futtermittelkonservierung sondern auch in der Substratbereitstellung für die Biogasproduktion eine ergänzende Maßnahme zur Verbesserung der Gärqualität

und zur Reduzierung der Nährstoffverluste. Ergebnisse aus Laborversuchen zeigen, dass die Höhe an Fermentationsverlusten für die Bewertung von Methanausbeuten eine wesentliche Rolle spielt. Mit abnehmender Gärqualität nehmen Verluste üblicherweise zu, was zu einer deutlichen Minderung des Gasbildungspotenzials führt. Durch Zusatz insbesondere von biologischen Siliermitteln konnten in Laborversuchen Verluste bei der Silierung von Mais verringert und die Methanausbeute deutlich erhöht werden. Untersuchte Silagen wiesen zudem häufig höhere Methanausbeuten auf als entsprechend unsiliertes Material. Dies lässt einen Aufschlusseffekt durch den Silierprozess vermuten, der durch längere Lagerzeiten verstärkt wird. Eine Konservierung durch Silagebereitung kann auch als Vorbehandlung des Substrates für die Biogasproduktion angesehen werden. Potenzial für weitere Entwicklungen liegen insbesondere in der Lagerungstechnik und in innovativen Additiven, die sich konsequent an die Substraterfordernisse für die Biogasproduktion orientieren.

Dank

Unseren Verbundpartnern Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF), Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) und Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (SLL) danken wir recht herzlich für die Bereitstellung der Pflanzenproben und die kooperative Zusammenarbeit. Die Arbeiten werden mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (FKZ 2200-2305/-2405/-2505/-2605/-2705/-2805) gefördert.

Literatur

- DLG-PRAXISHANDBUCH FUTTERKONSERVIERUNG (2006):** Hrsg. Bundesarbeitskreis Futterkonservierung; 7. völlig überarb. u. akt. Aufl. 2006; DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- DLG-RICHTLINIEN (2000):** DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- DLG-SCHLÜSSEL (2006):** Grobfutterbewertung; Teil B: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchungen. Hrsg. DLG e.V., Ausschuss Futterkonservierung, DLG-Information 2/2006, 5 S.
- GÖDEKE K., NEHRING A., VETTER A. (2006):** Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. 118. VDLUFA-Tagung, 19.-22.11.2006 in Freiburg/Germany, VDLUFA-Schriftenreihe 62 (2007) S. 334-340.
- NEUREITER M., DOS SANTOS J.T.P., LOPEZ C.P., PICHLER H., KIRCHMAYR R., BRAUN R. (2005):** Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages, in: Ahring, B. K. & Hartmann, H. (eds), Proceedings of the 4th Int. Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Copenhagen/Denmark, Vol. 1 p. 109-115.

- PAHLOW G., MUCK R.E., DRIEHUIS F., OUDE ELFERINK S.J.W.H., SPOELSTRA S.F. (2003):** Microbiology of Ensiling, Silage Science and Technology. In: Al-Amoodi L., Silage Science and Technology, Agronomy Monograph no. 42. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, p. 31-93.
- POUECH P., FRUTEAU H., BEWA H. (1998):** Agricultural crops for biogas production on anaerobic digestion plants. 10th European Conference Biomass for Energy and Industry. Carmen, Würzburg/Germany. 08-11 June 1998, p. 163-165.
- VDI 4630 (2006):** Vergärung organischer Stoffe; Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag GmbH, D-10772 Berlin, 92 S.
- WEISSBACH F., KUHLA S. (1995):** Substance losses in determining the dry matter content of silage and green fodder: arising errors and possibilities of correction. Übersicht Tierernährung 23, p. 189-214.
- ZUBR J. (1986):** Methanogenic Fermentation of Fresh and Ensiled Plant Materials, Biomass 11, p. 159-171.

Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe - Stand der Forschung und Entwicklung

Solid state anaerobic digestion of renewable biomass sources – state of research and development

Jan Mumme, Bernd Linke, Monika Heiermann
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: jmumme@atb-potsdam.de

Kurzfassung

Verfahren zur Trockenfermentation zeichnen sich durch einen im Vergleich zur konventionellen Nassfermentation stark verminderten Energiebedarf aus. Im Rahmen der Erprobung von zwei landwirtschaftlichen Trockenfermentations-Pilotanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe wurden zwei entsprechende Verfahren, das Perkulations- und das Einstauverfahren hinsichtlich ihrer Funktions- und Leistungsfähigkeit analysiert. Wie die Ergebnisse zeigen, erreichen beide Verfahren ähnliche Methanausbeuten wie bei der konventionellen Nassfermentation. Hinsichtlich der Produktivität scheint im optimierten System sogar das Erreichen einer höheren Leistungsfähigkeit möglich. Dieses kann zurückgeführt werden auf den Einsatz leistungsfähiger Nassreaktoren zur Regeneration der ausgetauschten Prozessflüssigkeit. In der Schlussfolgerung erscheint eine Weiterentwicklung der Trockenfermentation von nachwachsenden Rohstoffen zu einem zweistufigen und zweiphasigen Verfahren daher sehr aussichtsreich.

Schlüsselwörter: Biogas, Trockenfermentation, nachwachsende Rohstoffe, NawaRos

Einleitung

Der zunehmende Einsatz nachwachsender Rohstoffe (NawaRos), die ebenso wie Festmist schütffähig sind und für die Biogasgewinnung zum Einsatz kommen, wirft die Frage auf, ob diese Substrate auch im stapelbaren Zustand zu Biogas vergoren werden können. Entsprechende Verfahren sind unter der Bezeichnung Trockenfermentation (TF) oder Trockenvergärung seit längerem aus der Abfallbehandlung bekannt (THOME-KOZMIENSKY 1995, BIDLINGMAIER *et al.* 1997). Für die landwirtschaftliche Anwendung sind dabei insbesondere diejenigen TF-Verfahren von Interesse, die durch einen nicht vollständig durchmischten Feststoffreaktor sowie eine satzweise Befüllung, einen stark verringerten Energiebedarf besitzen. Die notwendige Homogenisierung des Reaktorinhaltes erfolgt bei diesen Verfahren ausschließlich durch die Bewegung der Flüssigphase. Hierzu sind zwei

unterschiedliche Gestaltungsvarianten bekannt, die Berieselung des Feststoffs, verbunden mit einer abwärtsgerichteten Flüssigkeitsströmung (Perkolation) und der Einstau der Feststoffe, verbunden mit einer aufwärtsgerichteten Durchströmung. Mit dem Ziel beide Verfahren hinsichtlich ihrer Funktions- und Leistungsfähigkeit für die landwirtschaftliche Anwendung zu analysieren, wurde jeweils eine Perkolations-Pilotanlage und eine Einstau-Pilotanlage erprobt. Zum Einstauverfahren wurden zusätzlich begleitende Versuche anhand einer kleintechnischen TF-Anlage durchgeführt. Der Standort der Perkolations-Pilotanlage war die Agrargenossenschaft Pirow (Brandenburg), der Standort der Einstau-Pilotanlage die Agrargenossenschaft Bergland e.G. Clausnitz (Sachsen). Die wissenschaftliche Begleitung beider TF-Anlagen erfolgte mit Unterstützung der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) durch das Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB).

Untersuchungen zum Perkolations-Verfahren

Die nach dem Perkolationsverfahren von der Firma LOOCK-Biogassysteme GmbH errichtete Trockenfermentationsanlage in Pirow besteht im Wesentlichen aus vier gasdichten und befahrbaren Boxenfermentern mit einem Nutzvolumen von jeweils 150 m^3 (**Bild 1**). Während des Untersuchungszeitraums wurden drei Boxen als Trockenfermenter genutzt (TF1, TF3 u. TF4). Die Box Nr. 2 wurde mit Hilfe eines eingebrachten 80 m^3 -fassenden Containers als Prozessflüssigkeitsspeicher mit der gleichzeitigen Funktion eines Nassfermenters (F2) verwendet. Die Trockenfermenter wurden mit hydraulisch verschließbaren Toren, Belüftungstechnik zum Einblasen von Luft, einer Vorrichtung zur Berieselung mit Prozessflüssigkeit und zugehöriger Prozessleittechnik ausgestattet.

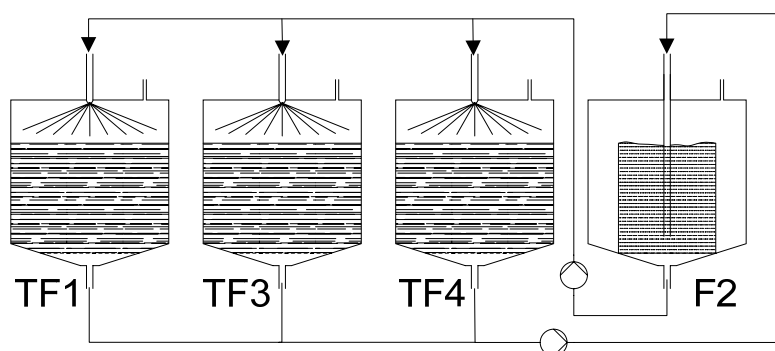


Bild 1: Funktionsschema der Perkolations-Pilotanlage Pirow

Für die Bewertung der TF-Anlage hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Biogasausbeute wurde ein für alle Fermenter einheitlicher Betrachtungszeitraum von sechs Wochen herangezogen. Innerhalb dieses Zeitraumes erhielten die drei verfügbaren Trockenfermenter jeweils zwei Chargen einer Mischung aus Maissilage ($\text{oTS} = 29,3\%$ FM), Putenmist ($\text{oTS} = 33,4\%$ FM) sowie festem Gärrest aus dem vorherigen Ansatz. Im Mittel aller Befüllun-

gen ergaben sich Masseanteile in der gesamten Mischung von 60 % Maissilage, 13 % Putenmist und 27 % Gärrest. Die Trockenfermenter wurden jeweils um eine Woche zeitversetzt befüllt und nach einer einheitlichen Verweildauer von drei Wochen entleert. Anschließend wurde der Gärrest ausgelagert und ein Teil für den neuen Ansatz verwendet. Nach der Beschickung und einer Vorbelüftung von etwa 12 Stunden wurden die Trockenfermenter nacheinander mit Prozessflüssigkeit aus dem Prozessflüssigkeitsspeicher (F2) mit einer Menge von $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ alternierend berieselt. Nach 4 Minuten Perkolation folgte eine Pause von 30 Minuten und die Perkolation wurde mit dem gleichen Rhythmus erneut aufgenommen.

Die Aufzeichnung der Gasbildung erfolgte während des gesamten Zeitraums kontinuierlich und für alle Behälter einschließlich dem Flüssigkeitsspeicher getrennt. Zusätzlich wurde einmal täglich der Methangehalt des Biogases analysiert. Wie erst während des Versuchs zu erkennen war, bestand am Trockenfermenter TF1 eine Gasundichtigkeit. Daher wurde dessen Gasertrag aus den Daten von TF3 und TF4 gemittelt.

Bezieht man die im Betrachtungszeitraum produzierte Methanmenge von 26407 m^3 auf die eingesetzte Substratmasse von 240,5 t Maissilage und 53 t Putenmist, dann ergibt sich eine spezifische Methanausbeute von 90 m^3 Methan je Tonne Frischmasse (**Tabelle 1**). Bezogen auf die organische Trockensubstanz von Maissilage und Putenmist resultiert eine Methanausbeute von 300 m^3 je Tonne. Auf Basis eines Gärtests lässt sich die Methanausbeute des Putenmistes mit 45 m^3 je Tonne oTS abschätzen, so dass auf die eingesetzte Maissilage eine spezifische Methanausbeute von 340 m^3 je Tonne oTS entfällt. Damit können die für Nassfermentationsanlagen ermittelten Methanausbeuten (HEIERMANN *et al.* 2007, LINKE *et al.* 2005) auch durch eine Trockenfermentation erreicht werden. Des Weiteren ist bemerkenswert, dass etwa 46 % der Methanausbeute aus dem nur 80 m^3 fassenden Prozessflüssigkeitsspeicher bzw. Nassfermenter stammen. Dies lässt sich auf die hier stattfindende Methanisierung gelöster Zwischenprodukte zurückzuführen, wodurch das Verfahren einen zweistufigen Charakter erhält.

Tabelle 1: Biogas- und Methanmenge aus der Pilotanlage Pirow mit jeweils zwei Befüllungen je Trockenfermenter

Fermenter	Maissilage (t FM)	Putenmist (t FM)	Gärrest (t FM)	Biogasmenge (m^3)	CH ₄ -Menge (m^3)	CH ₄ (Vol.-%)
TF1	79,0	17,5	36,0	8916 ¹⁾	4779 ¹⁾	53,6
TF3	80,5	18,0	36,5	10129	5370	53,0
TF4	81,0	17,5	35,5	7703	4188	54,3
F2	-	-	-	17562	12070	68,7
Gesamt	240,5	53	108	44310	26407	59,6

¹⁾ Mittelwert aus TF3 und TF4

Hinsichtlich der oTS-Raumbelastung und der Methanproduktivität ergeben sich für das Gesamtsystem im Betrachtungszeitraum Durchschnittswerte von $4,0 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ bzw. $1,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Damit besitzt die Pilotanlage Pirow eine etwas höhere Produktivität als Nassfermentationsanlagen im Mittel erreichen. Nach einer von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe im Jahr 2005 veröffentlichten Erhebung erreichen nur 12 % der untersuchten Nassfermentationsanlagen eine Methanproduktivität von über $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Die vergleichsweise hohe Leistungsfähigkeit der TF-Pilotanlage lässt sich auf die überdurchschnittliche Aktivität des Nassfermenters F2 zurückführen. Die hohe Methanproduktivität von $3,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ kann vermutlich mit der Anreicherung mikrobieller Biomasse durch Sedimentation begründet werden, die ähnlich dem Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)-Verfahren zur Bildung eines Schlammbeds führte.

Untersuchungen zum Einstauverfahren

Die vom Ingenieurbüro Ratzka an der Agrargenossenschaft Bergland Clausnitz nach dem Einstauverfahren konzipierte TF-Anlage besteht im Wesentlichen aus vier befahrbaren Trockenfermentern (TF1-4) mit einem Nutzvolumen von je 125 m^3 und einem Flüssigkeitsbehälter mit 150 m^3 Fassungsvermögen (**Bild 2**). Durch die Verwendung einer abnehmbaren Folienabdeckung lassen sich die TF-Boxen auch von oben befüllen. Entsprechend dem Einstauprinzip werden die Trockenfermenter von unten mit Prozessflüssigkeit durchströmt. Im oberen Fermenterbereich wird die Flüssigkeit durch einen Überlauf abgeführt. Um das Aufschwimmen von Feststoffen zu vermeiden, ist oberhalb der Feststoffe ein Metallgitter angeordnet. Zur Beschleunigung des Abbaus gelöster Zwischenprodukte wurde der Flüssigkeitsbehälter mit Füllkörpern als mikrobielle Aufwuchsträger ausgestattet. Damit erhält der Flüssigkeitsbehälter die Funktion eines aus der Abwasserreinigung bekannten Anaerobfilters (AF).

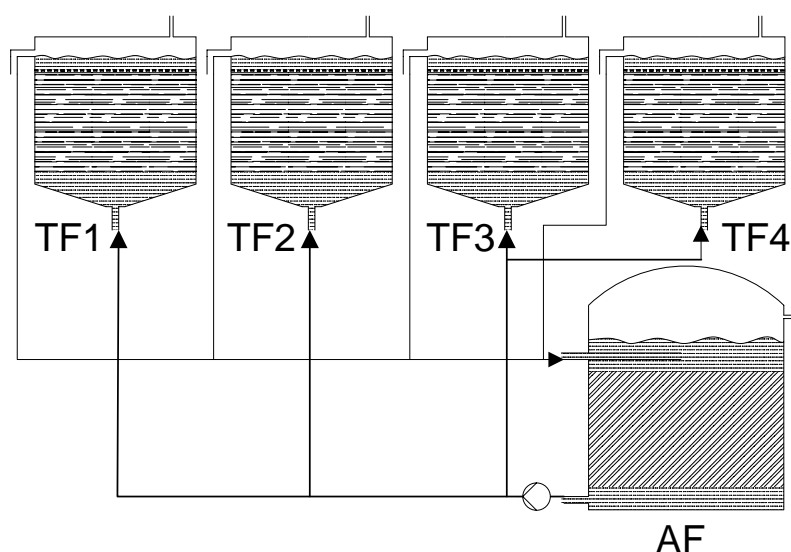


Bild 2: Funktionsschema der Einstau-Pilotanlage Clausnitz

Im Hinblick auf die Optimierung des in der Pilotanlage Clausnitz zur Anwendung kommenden Einstauverfahrens wurden am ATB begleitende Versuche anhand eines kleintechnischen Versuchsstandes durchgeführt. Dieser bestand aus drei Einstau-Trockenfermentern und einem Anaerobfilter. Das Arbeitsvolumen betrug für jeden Behälter 65 l. Für den Transport der Prozessflüssigkeit zwischen Anaerobfilter und Trockenfermenter wurde eine Schlauchpumpe eingesetzt. Die Rückführung der regenerierten Einstauflüssigkeit aus dem Anaerobfilter erfolgte über einen Überlauf. Durch zyklische Flüssigkeitszirkulation in Intervallen von 90 min wurden dabei während einer zweiminütigen Pumpenlaufzeit jeweils 0,8 Liter Flüssigkeit bewegt, woraus sich näherungsweise ein täglicher Austausch der Gesamtflüssigkeit der Trockenfermenter ergab. Die in den Trockenfermentern und dem Anaerobfilter produzierten Biogas- und Methanmengen wurden getrennt erfasst und auf die oTS der eingesetzten Triticale-Ganzpflanzensilage (GPS) bezogen.

Für den ersten Vergärungsversuch im kleintechnischen Maßstab wurde eine Feststoffmischung mit Masseanteilen von 10 % Triticale-GPS (oTS = 32,8 % FM) und 90 % schüttfähigem Gärrest (oTS = 9,3 % FM) hergestellt. Als Einstauflüssigkeit wurde Prozessflüssigkeit aus einer weiteren Trockenfermentationsanlage verwendet. Die einzelnen Trockenfermenter wurden im wöchentlichen Abstand zeitversetzt befüllt, bei einer Verweilzeit von jeweils drei Wochen. In weiteren systematischen Versuchen wurde der Anteil an festem Impfmateriale, das aus vorangegangenen Ansätzen zur Verfügung stand, systematisch reduziert. Im Ergebnis konnte der Einfluss des oTS-bezogenen Impfmateriale-Substrat-Verhältnisses (p_i) auf die oTS-Methanerausbeute (y_M) und dem Ertragsanteil des Anaerobfilters ermittelt werden (**Bild 3**).

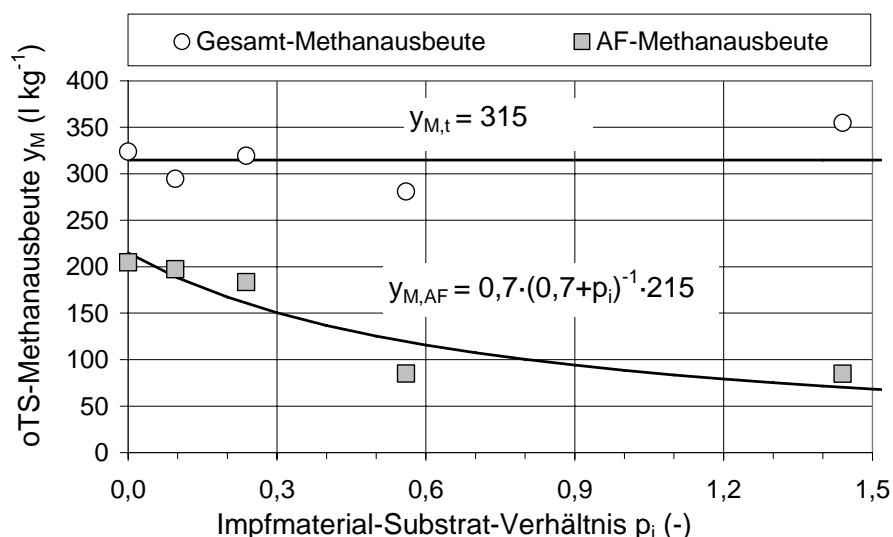


Bild 3: Einfluss des oTS-bezogenen Impfmateriale-Substrat-Verhältnisses (p_i) auf die Methanerausbeute aus dem Gesamtsystem ($y_{M,t}$) und dem Anaerobfilter ($y_{M,AF}$)

Wie aus Bild 3 zu entnehmen ist, lässt sich hinsichtlich der insgesamt erreichten Methanerausbeute kein signifikanter Einfluss des p_i -Wertes erkennen. Im Mittel wurde ein oTS-

bezogener Methanertrag von 315 l kg^{-1} gemessen. Die Aufteilung des Methanertrags zwischen Trockenfermenter und Anaerobfilter zeigt dagegen eine starke Abhängigkeit vom p_i -Wert. So erhöhte sich der gemessene Methanertragsanteil des Anaerobfilters von 24 % bei p_i 1,44 auf 63 % bei p_i 0. Letzteres entspricht der Vergärung von Triticale-GPS ohne eine Zugabe von festem Impfmateriale.

In einem weiteren Versuch im kleintechnischen Maßstab wurde die Leistungsfähigkeit des Einstauverfahrens im Bezug auf die Biogas- und Methanbildung bei reinem Einsatz von Triticale-GPS (oTS = 29,9 % FM) analysiert (**Tabelle 2**). Ausgewertet wurde ein für alle Fermenter einheitlicher Zeitraum von sechs Wochen, mit zwei Befüllungen je Trockenfermenter.

Tabelle 2: Biogas- und Methanmenge aus der kleintechnischen Einstau-Versuchsanlage mit jeweils zwei Befüllungen je Trockenfermenter

Fermenter	Triticale-GPS (kg FM)	Triticale-GPS (kg oTS)	Biogasmenge (l)	CH ₄ -Menge (l)	CH ₄ (Vol.-%)
TF1	40,8	12,82	3788	1103	29,1
TF2	44,1	12,43	3568	1089	30,5
TF3	41,0	12,41	3861	1207	31,3
AF	-		10014	6850	68,4
Gesamt	125,9	37,66	21231	10249	48,3

Im untersuchten Zeitraum wurde, bezogen auf die oTS der Triticale-GPS eine Methan- ausbeute von 272 l kg^{-1} erreicht. Hiervon werden etwa $2/3$ vom Anaerobfilter gebildet, so dass die Versuchsergebnisse aus Bild 3 bestätigt wurden. Die oTS-Raubelastung des Gesamtsystems lag bei $3,5 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. Die Methanproduktivität des Gesamtsystems und des Nassfermenters erreichte mit $0,94$ bzw. $2,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ähnlich hohe Werte wie im Perkulationsverfahren.

Anhand der großtechnischen Pilotanlage Clausnitz konnte die Funktionsfähigkeit des Einstauverfahrens ebenfalls nachgewiesen werden. Aufgrund einiger Umbaumaßnahmen, die im Zugabe der anlagentechnischen Optimierung notwendig wurden, wurde bislang jedoch noch kein Regelbetrieb erreicht, so dass auch die Leistungsfähigkeit der Pilotanlage noch nicht abschließend analysiert werden konnte.

Schlussfolgerungen

Die im Rahmen der Erprobung der TF-Pilotanlagen Pirow und Clausnitz ermittelten Ergebnisse zeigen, dass die Trockenfermentation nachwachsender Rohstoffe durch den Austausch der Prozessflüssigkeit funktions- und leistungsfähig zu gestalten ist. Ein deutlicher Unterschied des Perkulations- und Einstauverfahren hinsichtlich der Leistungsfähig-

keit war nicht zu erkennen, eine abschließende Bewertung des Einstauverfahrens steht aufgrund des bislang nicht erreichten Regelbetriebs der Pilotanlage Clausnitz jedoch noch aus.

Im Vergleich zur konventionellen Nassfermentation können bei den analysierten TF-Verfahren die selben Biogas- und Methanausbeuten erzielt werden. Hinsichtlich der Produktivität erscheint sogar das Erreichen höhere Werte möglich. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, lässt sich die hohe Produktivität auf den Einsatz eines Nassfermenters zur Regeneration der Prozessflüssigkeit zurückführen. Durch den vergleichsweise geringen Feststoffgehalt der Prozessflüssigkeit, können diese Fermenter als Hochleistungsreaktoren mit Biomasserückhaltung ausgestaltet sein. Entsprechende Reaktortypen sind aus der Abwasserbehandlung z. B. in Form des in der Pilotanlage Clausnitz eingesetzten Anaerobfilters bekannt. Weitere in Frage kommende Hochleistungsreaktoren sind der UASB-Reaktor oder der Wirbelbettreaktor.

Wie die Versuche zum Einstauverfahren im kleintechnischen Maßstab ergaben, kann bei ausreichender Leistungsfähigkeit des Nassfermenters auf die Rückführung von festem Gärrest verzichtet werden. Nach derzeitigem Kenntnisstandes ist aufgrund der stabilisierende Wirkung auf die Methanbildung jedoch eine Gärrestrückführung im moderaten Umfang vorzuziehen. Zur weiteren Stabilisierung bietet sich zudem eine Kreuzschaltung der Prozessflüssigkeitsführung an, so dass gelöste Zwischenprodukte neben dem Nassfermenter auch in weiteren Trockenfermentern abgebaut werden können. Für die zukünftige Gestaltung des TF-Verfahrens erscheint jedoch die Anwendung eines zweistufigen und zweiphasigen Prozesses erstrebenswert, da sich hierdurch die unterschiedlichen Milieuanforderungen von Hydrolyse- und Methanbildung optimal erfüllen lassen. Zur Optimierung der zweistufigen Prozessführung ist jedoch noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich. Forschungsbedarf besteht auch in der optimalen Temperaturführung sowie der Analyse der am mikrobiellen Abbau beteiligten Mischpopulation.

Literatur

BIDLINGMAIER W., MÜSKEN J. (1997): Biotechnologische Verfahren zur Behandlung fester Abfallstoffe. In: Umweltbiotechnologie, Hrsg. von Johannes C.G. Ottow und Werner Bidlingmaier, Stuttgart Jena Lübeck Ulm: G. Fischer.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms, Gülzow.

HEIERMANN M., LINKE B., LOOCK R., KESSLER U. (2007): Biogas aus NaWaRos durch Trockenfermentation – Biogas from renewable resources through dry anaerobic digestion, Landtechnik 62 (1) S. 14-15.

LINKE B., MÄHNERT P. (2005): Biogasgewinnung aus Rindergülle und nachwachsenden Rohstoffen. Agrartechnische Forschung 11 (5) S. 125-132.

THOME-KOZMIENSKY K.J. (1995): Biologische Abfallbehandlung, Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik.

Energiepflanzen in der Biogasanlage – Erfahrungsbericht

Energy crops as feedstock in a biogas plant – an experience report

Jens Winter

Rhinmilch GmbH Agrargesellschaft, Betziner Weg 18, 16833 Fehrbellin

E-Mail: jens.winter@rhinmilch.de

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht ist eine Betrachtung einer Biogasanlage und der mit ihr verbundenen Prozesse aus der Sicht eines Landwirtes und Betriebsökonomen.

Die Anlage wurde 2001 zur Gülleverwertung eines Milchviehbetriebes errichtet. Sie erzeugte Biogas für den Betrieb eines BHKW mit einer Leistung von 330 kW_{el}. Nach Novellierung des EEG 2004 wurde sie zur Verwertung nachwachsender Rohstoffe auf 12.500 m³ Faulraum ausgebaut und um ein BHKW mit einer Leistung von 1.048 kW_{el} erweitert.

Betrachtet werden unter anderem:

- Die Entwicklung der Biogasanlage unter den wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen
- Der Aufbau der Biogasanlage der Rhinmilch GmbH Fehrbellin
- Der Anlagenbetrieb mit nachwachsenden Rohstoffen (Beschickung, Vergärung, etc.)
- Die Notwendigkeit der weiteren Entwicklung der Biogastechnologie

Schlüsselwörter: Biogasanlage, Energiepflanzen

Einleitung

Nach Novellierung des EEG im Jahr 2004 sind (weiterhin) die Nebenprodukte der Tierproduktion die effektivsten Einsatzstoffe in der Biogasanlage. Gleichzeitig kommt die gezielte Vergärung von Gülle und Festmist den aktuell viel diskutierten Klimaschutzziele entgegen.

Mit Einführung des NawaRo-Bonus wurde es betriebswirtschaftlich interessant, Pflanzenmasse zu vergären, die extra für die Energieproduktion erzeugt wird. Resultierend wurde die Biogasanlage Fehrbellin von einer fast ausschließlich gülleverwertenden, zu einer Anlage mit relativ hohem Feststoffinput erweitert.

Im Folgenden werden insbesondere technologische und ökonomische Aspekte der Erweiterung aus praktischen Gesichtspunkten beleuchtet.

Erweiterung des Reproduktionsprozesses

Durch die relativ höhere finanzielle Bewertung von Energie im Verhältnis zur möglichen Wertschöpfung aus der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte ist es betriebsökonomisch sinnvoll, den landwirtschaftlichen Reproduktionsprozess um die Produktion von Strom und Wärme zu erweitern. Ziel ist die Schaffung eines Mehrwertes aus der landwirtschaftlichen Produktion. Dem entgegen stehen insbesondere relativ hohe Investitionsaufwände mit folgenden Kapitalkosten und Abschreibungen, Substratbereitstellung- und Arbeitskosten. Oftmals wird die Komplexität der Prozesse unterschätzt, so dass die Wirtschaftlichkeit bestehender Biogasanlagen nicht immer gegeben ist. Die Biogastechnologie steckt noch immer in den Kinderschuhen, so dass die Betreiber von Biogasanlagen mit gewissen Unsicherheiten und Risiken leben müssen.

Änderung der Rahmenbedingungen

Für die Vergütung der eingespeisten Strommengen gibt es mit dem EEG feste Rahmenbedingungen, auf deren Grundlage die vorbereitenden Kalkulationen erfolgen können.

Änderungen erfolgen in der absoluten Kostenerhöhung durch allgemeine Teuerung, Teuerung aus dem Biogasboom selbst heraus (Pachten, Input) und politische Einflussnahmen wie Änderung der Förderinstrumente für die Landwirtschaft, Entfall der Gasölverbilligung etc.

In der Folge ist eine ausschließliche Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion auf Biogas nicht gefahrlos.

Biogasanlage Fehrbellin

Die Inbetriebnahme der ersten einstufigen Ausbaustufe mit 330 kW erfolgte 2001 zur Verwertung und Aufbereitung der Gülle aus der Milchviehanlage Fehrbellin mit 1.700 Tierplätzen. Nach anfänglichen technologischen Problemen stellte sich ein stabiler und mit relativ geringem Aufwand zu beherrschender Prozess ein.

Das BHKW wurde voll ausgelastet. Aus den Erträgen konnten die Kosten realisiert werden. Der betriebswirtschaftlich meßbare Gewinn ergab sich aus einem besseren Handling des vergorenen Substrats, dass in Fehrbellin über ein Rohrleitungssystem auf Schläge bis 15 km Entfernung verbracht wird, der Nutzung der selbsterzeugten Elektroenergie für die Gülleausbringung und der Substitution von Heizöl.

Mit der Novellierung des EEG 2004 ergaben sich verbesserte Möglichkeiten der Verwertung landwirtschaftlicher Produkte. Das Missverhältnis der Erlössituation energetischer Nutzung gegenüber Verkauf an die aufnehmende Hand (siehe **Bild 2**) wurde gravierend.

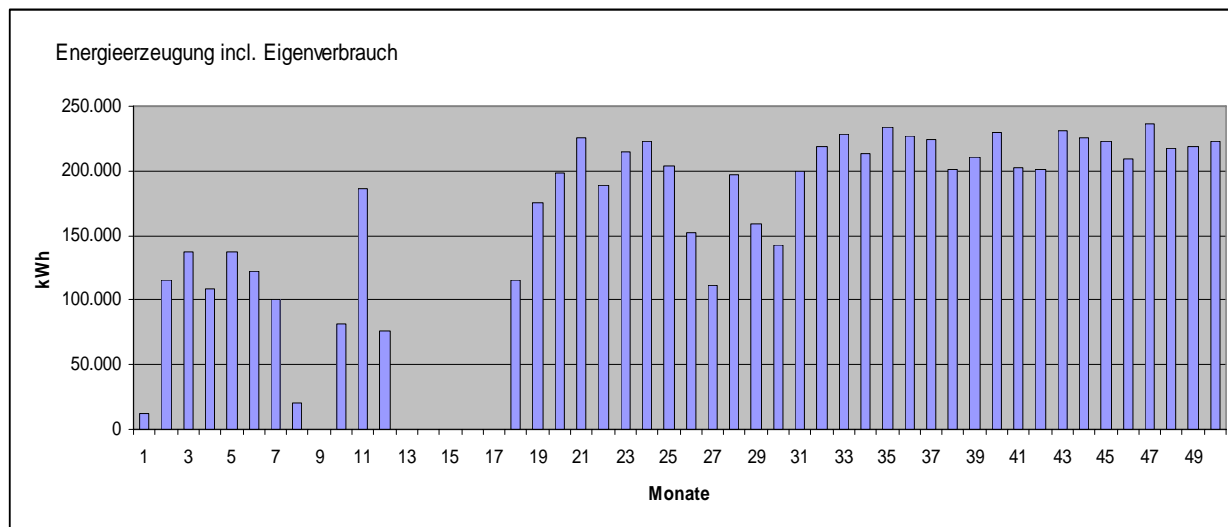


Bild 1: Anlauf der Biogasanlage – erste Ausbaustufe

Tabelle1: Energiewert nachwachsender Rohstoffe €/dt (NEUBERT 2004 zitiert aus Handreichung Biogas FNR, 2004)

Substrat	Stromerlös
Maissilage, wachsreif	6,56
Weizenkorn	19,65
Roggenkorn	19,31
GPS Roggen	6,34

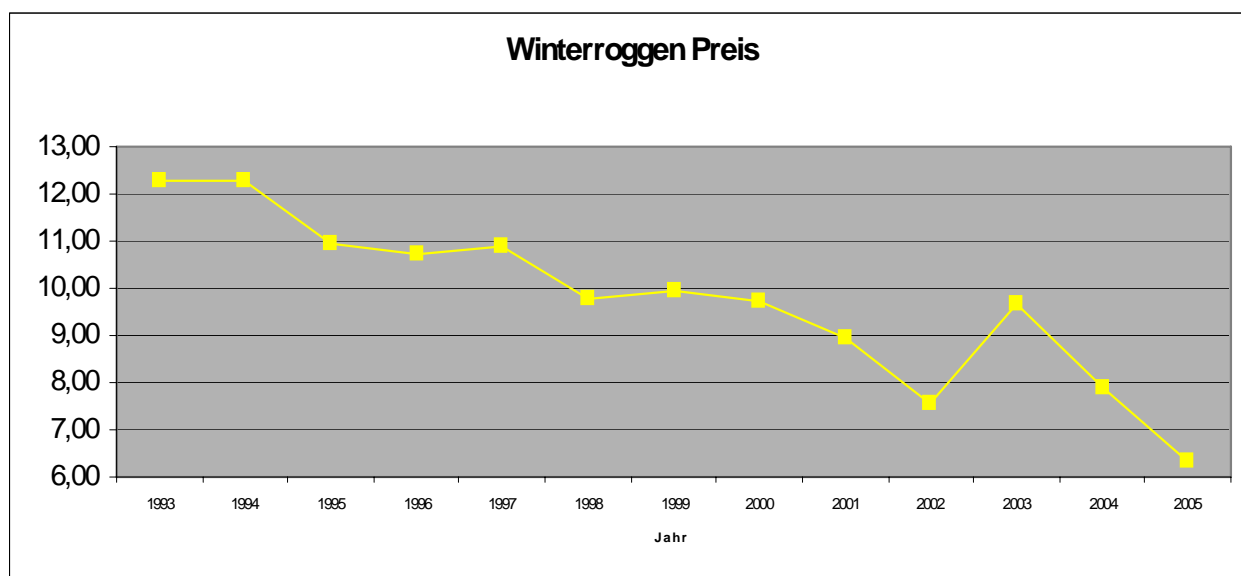


Bild 2: Preisentwicklung Winterroggen nach Abzügen für Trocknung und Besatz

Folgend wurde beschlossen, die Erfahrungen aus dem bisherigen Biogasbetrieb zu nutzen, und die Anlage zur Vergärung von Energiepflanzen zu erweitern.

Die im Jahr 2005 erweiterte Anlage besteht aus:

- Feststoffdosierer 80 m³
- Vorfermenter, h = 7 m 500 m³
- zwei Hauptfermentern, h = 16 m á 3.000 m³
- Nachgärer / Endlager, h = 7 m 6.000 m³
- BHKW, Gasmotor 330 kW_{el.} / 478 kW_{th.}
- BHKW, Gasmotor 1.048 kW_{el.} / 1.104 kW_{th.}
- kontinuierlich arbeitenden Rührwerken, langsam drehend

Substrate in der Biogasanlage Fehrbellin

Rindergülle:

ca. 140 m³ je Tag aus der Milchviehanlage und weiteren eigenen Stallanlagen – „kostenlos“

Verstromung immer sinnvoll – ökologisch und ökonomisch – Vergütung mit NawaRo-Bonus, bessere Handhabbarkeit, Verminderung klimaschädlicher Wirkungen

Festmist:

derzeit ca. 9 t je Tag aus der Milchviehanlage und weiteren eigenen Stallanlagen

Vergütung mit NawaRo-Bonus, bessere Handhabung bei der Ausbringung im homogenisierten, verflüssigten Gärrest, aber hoher Aufwand der Einbringung in das System, hohe Belastung des Faulraumes mit Zellulose und Lignin

Getreideschrot (Roggen, Mais, Gerste):

derzeit ca. 8 t je Tag

leicht handhabbares Substrat mit hohem Energiegehalt, steigender Marktwert, starkes Schäumen von Roggen, innerbetriebliche Verrechnung mit 10,00 €/dt frei Anlage

Maissilage:

derzeit ca. 10 t je Tag

relativ einfach handhabbares Substrat mit hoher Flächenleistung, infolgedessen verfügbare Einbringtechnologien vorrangig auf Maissilage abgestimmt, steigender Marktwert, innerbetriebliche Verrechnung mit 3,50 €/dt frei Anlage

Anwelksilage:

derzeit ca. 4 t je Tag

relativ teures Substrat mit hoher Differenzierung im Energie- und Zellulosegehalt entsprechend dem Vegetationsstadium des Ausgangsmaterials, in der Anlage werden unbewertete Randschichten und selektierte Partien eingesetzt

Restfutter:

ca. 5 t je Tag

ökonomische Verwertung insbesondere bei höchstleistenden Tierbeständen

Technologie der Substrateinbringung und Verarbeitung

Durch den Einsatz vorhandener nachwachsender Rohstoffe ergibt sich eine relativ geringe Energiekonzentration der Gesamtration mit hohem Anteil schwer vergärbare Substanzen. Der Anteil an Festmist soll zukünftig noch gesteigert werden. Große Substratmengen werden bewegt, es ist ein hohes Fermentervolumen nötig.

- Einwaage aller Substrate beim Transport zur Biogasanlage
- Beschickung des Dosierers per Hublader, gleichmäßige Schichtung der Substrate
- Abfräsen des Substratstapels
- Injektion der Feststoffe in den Güllestrom
- Befüllung des Vorfermenters mit homogenem Substrat

Vorteile

- sehr gute Homogenisierung, kein Aufschwimmen, geringere Rührwerksleistung nötig
- durch Einbringen in rel. niedrigen Vorfermenter relativ geringer Gegendruck
- potentielle Nutzung des Vorfermenters für Verbesserung des Aufschlusses (Zirkulation, Temperaturerhöhung, Enzymeinsatz, ...)

Probleme

- unausgereifte Zuführtechnik (hoher Verschleiß, hohe Störanfälligkeit mit zunehmendem Verschleiß)
- physikalische Grenzen der Pump- und Zerkleinerungstechnik

Für die Injektion der Festsubstrate wird nach Aufbrauch der Frischgülle Rezirkulat aus dem Nachgärer genutzt. Die Rezirkulation soll durch die Optimierung der Feststoffeinbringung reduziert werden.

Der Energieverbrauch der Gesamtanlage differiert je nach Energieerzeugung und Intensität der Substratbehandlung zwischen 7,5 und 15 % der erzeugten Elektroenergie, wobei

die höheren Werte aus Phasen verminderter Stromproduktion resultieren. Es ist davon auszugehen, dass mit steigender Struktur der Substrate der energetische Aufwand steigt.

Substrataufschluss in der Biogasanlage

Im Vorfermenter findet, ohne jegliche weitere Einflussnahme, eine stürmische Versäuerung statt. Die ermittelten Säurewerte bewegen sich für Essigsäure um 7.500 mg/l, für Propionsäure um 2.000 mg/l.

Die Hauptfermenter werden quasi kontinuierlich parallel aus dem Vorfermenter beschickt und laufen in den Nachgärer über. Bei Nichtberücksichtigung des Vorfermenters wird die Anlage somit zweistufig betrieben.

In den Hauptfermentern schwanken die Werte für Essigsäure um 800 mg/l, für Propionsäure um 100 mg/l und lassen noch Reserven für die Belastung der Gesamtanlage vermuten.

Oberste Zielstellung ist es, die vergärbare Substanz des Gärsubstrates in der verfügbaren Verweilzeit von ca. 80 Tagen voll aufzuschließen.

Derzeit gibt es nur Indizien für erfolgreiche Realisierung:

- die erreichten Erträge aus dem eingebrachten Gärsubstrat entsprechen den theoretischen Ansätzen
- der Trockensubstanzabbau des Substrates erreicht trotz hohem Ligninanteil einen TS-Gehalt von unter 5 %, der oTS-Gehalt liegt zwischen 3,0 und 3,5 % der Originalsubstanz
- minimale Gasblasenbildung im Endlager

Das Gärrestpotential muss für klare Aussagen exakt bestimmt werden.

Zur weiteren Optimierung der Anlage werden Versuche durchgeführt, ohne immer die Ergebnisse exakt beurteilen zu können.

Ein Experiment zum dreistufigen Ablauf durch Nacheinanderbeschickung der Hauptfermenter wurde abgebrochen, nachdem die Methanisierung im ersten Hauptfermenter nahezu eingestellt war. Ursachen, wie Ausspülen der methanogenen Mikroorganismen mit langem Generationsintervall, können nur vermutet werden. Eine intensive Beschäftigung, und möglichst wissenschaftliche Begleitung, ist notwendig um Erfahrungen beurteilen zu können.

Der Substrataufschluss funktioniert, es wird bei Berücksichtigung der vorliegenden Werte für Gasausbeuten, in geplantem Umfang Strom produziert.

Problematisch ist der relativ geringe Methangehalt des Biogases bei der Vergärung nachwachsender Rohstoffe. In der Fehrbelliner Anlage werden bei der Hauptfermentation Methangehalte von über 60 % erreicht. Durch das Mischen mit dem Hydrolysegas aus dem Vorfermenter wird der Methangehalt auf Werte zum Teil unter 50 % reduziert und kann

nach der aeroben biologischen Entschwefelung in den Grenzbereich der Verwertbarkeit kommen.

Ökonomische Denkansätze

Beim Ansatz, dass die Biogasanlage ohne NawaRo-Bonus kostendeckend arbeitet, müsste der NawaRo-Bonus die Substratkosten ausgleichen, andernfalls muss der Gewinnanteil aus der Grundvergütung aufgewendet werden. Preise kleiner 3,00 €/ dt für die Produktion bzw. Lieferung von Maissilage sind unreal, der NawaRo-Bonus realisiert ca. 1,85 €

Weiter steigende Substratkosten sind nur durch Einsatz der von der Produktion entkoppelten Direktzahlungen abzufangen. Die Differenzierung des NawaRo-Bonus nach Anlagengrößen ist nicht gerechtfertigt. Die Produktionskosten für nachwachsende Rohstoffe sind unabhängig von der Größe der Biogasanlage. Der NawaRo-Bonus ist nur bei einer Mischkalkulation mit „kostenlosen“ Substraten, wie Gülle und Festmist für den Gesamtinput kostendeckend. Es ist ein maximaler Einsatz dieser Einsatzstoffe notwendig. Über Biogasanlagen können Silagen geringerer Qualität verwertet werden.

Tabelle 2: Herstellungskosten für Bioenergie-Trockenmasse (TM) und Marktprodukte (MP) (BREITSCHUH *et al.* 2006)

Marktprodukt	Ertrag	TM-Gehalt	Herstellungskosten		
			direktzahlungsfrei		abzüglich Direktzahlung
	T MP/ha	%	€/t TM	€/t MP	€/t MP
Sp. 1	Sp. 2	Sp. 3	Sp. 4	Sp. 5	Sp. 6
Raps	3,5	91	361	330	238
Getreide	6,5	85	193	166	117
GPG	12,0	86	113	97	70
Körnermais	9,3	85	170	146	112
Plantagenholz (Pappeln)	9,6	70	154	108	75
Stroh	4,5	84	60	51	51
Landschaftspflegeheu	3,5	85	291	247	224
Landschaftspflegesilage	8,9	35	211	74	65
Maissilage	34,1	32	139	44	35

Die entstehende Konkurrenzsituation zwischen Tier- und Energieproduktion führt zu einer Situation, die eine Grenzkostenberechnung für Substratzukauf, bzw. -verkauf, mit der Option einer Leistungseinschränkung der Biogasanlage bei besserer Verwertung über Substratverkauf, notwendig macht. Diese Option haben nur Substrat produzierende Betriebe.

Der Einsatz aus ökologischer Sicht „sinnvoller“ Substrate - Spätschnitte im Grünland - ist momentan betriebswirtschaftlich auf Grund des schlechten Aufschlusses nicht effektiv

möglich, belastet zusätzlich den Faulraum mit organischer nicht abbaubarer Substanz. Ein Aufschluss dieser Substrate könnte einen „Biogasboom“ in Grünlandgebieten auslösen.

Mit weiterem Kostenanstieg und degressiver Vergütung für Neuanlagen ist die Nutzung der gesamten energetischen Ausbeute, d. h. auch die sinnvolle Nutzung der Wärmeenergie dringend geboten und zu fordern. Mögliche Wege können die Entwicklung der ORC-Technik oder auch die Verwertung des Biogases an Orten des Wärmebedarfes sein. Einer Einspeisung in Gasnetze könnte der Bedarf an Prozesswärme in der Anlage entgegen stehen. Auch vorhersehbare Preisentwicklungen auf dem Strommarkt, werden zu einer teilweisen Eigenverwertung des erzeugten Stromes führen. Für Spitzenstrombedarf wird dieses in Fehrbellin schon realisiert.

Notwendige weitere Entwicklungen zur Potentialausschöpfung aus praktischer Sicht

Die Biogasbranche ist erst seit kurzer Zeit intensiver Betrachtung unterworfen. Aus praktischer Sicht besteht die Vermutung, dass die Leistungsfähigkeit, auch gut geführter Anlagen, lange nicht ausgeschöpft wird.

Notwendig sind Untersuchungen zum effektiveren Substrataufschluss durch verbesserten Abbau von Zellulose und Lignin im anaeroben Prozess durch Zusatz von Mikroorganismen oder Enzymen, Temperaturveränderung, ...

Versuche unter wissenschaftlicher Begleitung sind u. a. notwendig, um Fragen zu klären wie:

- Adaptieren Bakterienkulturen an verschiedene Stufen der Vergärung? Entwickeln sich Spezialisten?
- Welche Einflüsse hat die Zuführung von Rezirkulat, aus welcher Vergärungsstufe sollte es zugeführt werden?
- Ist es, auch hinsichtlich der technologischen Handhabbarkeit (Viskosität) sinnvoll, leicht lösliche Kohlenhydrate erst in späteren Prozessstufen zuzuführen?

Notwendig sind auch Verbesserungen der Technologie der Feststoffeinbringung in Hinsicht Sicherheit, Verschleiß, Energieeffizienz bei mechanischem Aufschluss, die Betrachtung „problematischer“ Einsatzstoffe durch Anlagen- und Maschinenhersteller, sowie die Entwicklung einfacher Gasaufbereitungen zur Methananreicherung von Biogas.

Um die Leistungsfähigkeit der eigenen Anlage einschätzen zu können, um weitere Forschungen durch schematische Festlegungen zu Verweilzeiten in Biogasanlagen nicht zu konterkarieren und um verschiedene technologische Abläufe und Anlagen vergleichbar zu machen, ist es notwendig, eine standardisierte Restgaspotentialbestimmung zu erarbeiten.

Fazit

Biogasanlagen sind ökonomisch sinnvoll im landwirtschaftlichen Reproduktionsprozess eingeordnet. Zu jedem größeren Tierproduktionsbetrieb, insbesondere auf Güllebasis, gehört eine Biogasanlage. Eine intensive Beschäftigung mit den Anlagen ist notwendig. Zur ökonomischen Stabilität sind weitere Entwicklungen zur maximalen Ausnutzung der eingesetzten Substrate notwendig.

Literatur

- BREITSCHUH G., DEGNER J., REINHOLD G., STRÜMPFEL J., VETTER A. (2006):** TLL-Veröffentlichungen, Orientierungspreise für die Bereitstellung von marktfähiger Biomasse zur energetischen Verwertung.
- NEUBERT G.:** Biogastagung Fehrbellin, 26.10.2004: Reform der GAP-Biomassennutzung in Brandenburg.

Angebot und Bedarf an Energieholz in Brandenburg

Proffer and demand of wood fuel in the State of Brandenburg

Gernod Bilke, Alexander Muchin

Landesforstanstalt Eberswalde, A. Möller Straße 1, 16225 Eberswalde

E-Mail: bilke@arcor.de

Kurzfassung

Im vorliegenden Artikel wird das aktuelle Rohholzpotenzial Brandenburgs der derzeitigen, regional ansässigen Verarbeitungskapazität der stofflichen und energetischen Verwerter gegenübergestellt, um darauf aufbauend Schlussfolgerungen für die Marktchancen von landwirtschaftlichen Energiegehölzen ziehen zu können. Grundlagen für die Kapazitätsermittlung bilden neben einer Erfassung der Feuerungsstätten über die Schornsteinfeger-Innung auch eine Direktabfrage bei den Holz verarbeitenden Betrieben. Auf der Produktionsseite wurde das Potenzial auf der Basis des Datenspeichers Wald und unter Verwendung der derzeit benutzten Ertragsmodelle hergeleitet. Als Ergebnis zeigt sich, dass die aktuelle Verarbeitungskapazität die nachhaltig zur Verfügung stehende Holzmenge übertrifft. Die Fehlmengen werden derzeit über Importe aus anderen Regionen bzw. Ländern sowie durch Mehreinschläge ausgeglichen. Die vorhandene Aufnahmebereitschaft des Marktes kann als Basis für die Etablierung von landwirtschaftlichen Energiegehölzen genutzt werden. Es sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass sich derartige Gehölze unter Umständen auch für die Produktion von Holz eignen, welches der stofflichen Verwertung zugeführt werden kann.

Schlüsselwörter: Energieholz, Energieholzpotenziale, Holzbedarf, Klassifizierung von Energieholz

Keywords: wood fuel, wood fuel potential, timber demand, wood fuel-classification

Einleitung

Im Zusammenhang mit Investitionen, die einer langfristigen Kapitalbindung unterliegen, und hierum handelt es sich bei der Anlage von Energieholzplantagen zweifelsfrei, ist die Beurteilung der mittel- und langfristigen Marktchancen eines Produkts unumgänglich. Zu den Bestandteilen einer derartigen Marktanalyse zählen unter anderem:

- die exakte Definition des zu erzeugenden Produkts (Dimension, Qualität, Preis, Menge),
- die Ermittlung der für dieses Produkt vorhandenen Marktnachfrage bzw. zu erwartenden Nachfrageentwicklung und
- die Identifikation der Mitbewerber inklusive ihrer aktuellen Kapazitäten und Potenziale.

Die nachfolgende Abhandlung orientiert sich an dieser Einteilung, um den Energieholzmarkt Brandenburgs näher zu beschreiben.

Klassifikation des Energieholzes

Der überwiegende Teil des Energieholzes wird derzeit im Wald erzeugt. Bis vor wenigen Jahren bezog sich deshalb die Klassifikation im Energieholzbereich in erster Linie auf das Waldholz. Im Gegensatz zur stofflichen Verwertung des Waldholzes, wo technologische Mindestanforderungen an Qualität und Dimension die Verwendung der einzelnen Baubestandteile begrenzen, sind der energetischen Verwertung nahezu keine Grenzen gesetzt. Theoretisch ist die gesamte Dendromasse eines Baumes als Energieträger nutzbar.

Diese Tatsache und der Gedanke, dass der stofflichen Verwertung aus ideologischer Sicht stets der Vorrang vor der thermischen Verwertung einzuräumen ist, führten dazu, dass sich mehrere Autoren (z.B. DIETER & ENGLERT 2001, FRITSCHKE & DEHOUST 2004) für eine Unterteilung des energetisch nutzbaren Waldholzes in die Segmente „Waldrestholz“ (technische Aufarbeitungsgrenze = Abgrenzung zur stofflichen Verwertung) und „Schwachholz“ (ökonomische Grenze der Aufarbeitung = Abgrenzung zur stofflichen Verwertung) entschieden. SCHEUERMANN *et al.* (2003) sowie KALTSCHMITT *et al.* (2003) zählen zusätzlich auch Anteile des bisher ungenutzten Zuwachses zum Energieholz.

Diese Ansätze der Klassifizierung erleichtern zwar die Abgrenzung der Waldholzpoteziale, sind aber für eine Marktanalyse nahezu ungeeignet. Sie ignorieren, dass sich die Nachfrager der stofflichen und thermischen Holzverwertung in direkter Konkurrenz um den gleichen Rohstoff befinden. Zudem hat der technische Fortschritt bei der Holzaufarbeitung und Holzverwendung inzwischen dafür gesorgt, dass die Aufarbeitungsgrenzen für die stoffliche Verwertung stark gesunken sind (in Brandenburg teilweise bis zu 4 cm o.R.). Durch diese Verlagerung bleibt nicht nur weniger „Restholz“ auf der Fläche, sondern es verschieben sich auch die theoretisch möglichen Rohholzpotenziale für die stoffliche bzw. energetische Verwertung. Potenzialschätzungen, die derartige Interaktionen unberücksichtigt lassen, zielen deshalb regelmäßig an der Realität vorbei.

Um diese Schwächen zu umgehen, wurde für die Einteilung des Energieholzes ein Ansatz gewählt, bei dem eine Einteilung in Nachfragesegmente erfolgte. Dazu wurden folgende Energieholzgruppen ausgewiesen:

- **Stückholz**, hauptsächlich nachgefragt von Betreibern von Kleinfeuerungsanlagen,
- **Hackschnitzel (Bild 1)**, hauptsächlich nachgefragt durch Betreiber von Kleinfeuerungs- bis Großfeuerungsanlagen sowie zur Herstellung von Pellets,
- **Pellets**, hauptsächlich nachgefragt von Betreibern von Kleinfeuerungsanlagen,
- **Holzteile aus dem Produktionsprozess**, hauptsächliche Verwendung bei den Holzverarbeitern,
- **Gebrauchtholz**, hauptsächlich nachgefragt von Betreibern von Großfeuerungsanlagen und
- **Holz zur BTL - Kraftstoffherstellung**, derzeit in Brandenburg noch nicht nachgefragt.



Bild 1: Fichtenhackschnitzel hoher Qualität

Bedarf an Energieholz

Stückholz

Im Juni 2006 wurde durch das MLUV Brandenburg und die IHK Brandenburg eine Erfassung der Holzheizanlagen Brandenburgs bei der Schornsteinfeger-Innung in Auftrag gegeben. Im Rahmen dieser Inventur wurden insgesamt 255.593 Stückholzanlagen in Brandenburg erfasst. Gegliedert nach Leistungsklassen ergeben sich folgende Anzahlen:

- Leistung bis 15 kW – 222.262 Anlagen,
- Leistung 15 kW bis 99 kW – 33.160 Anlagen und
- Leistung ab 100 kW – 171 Anlagen.

Aus dieser Übersicht geht hervor, dass der überwiegende Teil der Anlagen im Leistungsbereich bis 15 kW angesiedelt ist. Diese Feuerstätten sollen jedoch i. d. R. nicht den gesamten Wärmebedarf des jeweiligen Objekts decken. Vielmehr werden sie häufig in Kombination mit anderen Heizsystemen betrieben. Demzufolge kann aus der Anzahl der Anlagen nicht direkt auf den Holzverbrauch geschlossen werden. Deshalb wurde näherungsweise ein Ansatz der Projektgemeinschaft Biorohstoffe Hessen für die Ermittlung des aktuellen Brennstoffbedarfs herangezogen. Auf diese Weise konnte ein jährlicher Holzverbrauch von rund 420.000 m³ für die Kleinanlagen hergeleitet werden. In naher Zukunft ist jedoch mit einer weiteren Erhöhung des Jahresbedarfs der Stückholzanlagen zu rechnen, da sowohl die Anzahl der Brennstätten als auch die Betriebsdauer der bestehenden Anlagen stetig steigt.

Hackschnitzel

In der im Abschnitt Stückholz beschriebenen Studie wurde zusätzlich auch die Anzahl der Hackschnitzelheizanlagen erfasst. Insgesamt gibt es in Brandenburg 212 Anlagen, die sich folgendermaßen nach Leistungsklassen aufgliedern:

- Leistung bis 15 kW – 46 Anlagen,
- Leistung 15 kW bis 99 kW – 84 Anlagen und
- Leistung ab 100 kW – 82 Anlagen.

Diese Anlagen verbrauchen derzeit jährlich etwa 17.000 m³ Holz. Des Weiteren werden in Brandenburg auch 8 Großfeuerungsanlagen und 22 mittlere Biomasseheizanlagen mit nennenswerten Mengen von Frischholz-Hackschnitzeln betrieben. Dabei ist es unerheblich, ob das Holz im Wald oder Werk gehackt oder gebrochen wird. Diese Anlagen verbrauchen jährlich Hackschnitzel aus etwa 910.000 m³ Frischholz.

Pellets

Derzeit existieren in Brandenburg 399 Pellet-Heizungen, von denen der überwiegende Teil (266) der Leistungsklasse bis 15 kW zuzurechnen ist. Sie verbrauchen insgesamt etwa 11.000 m³ Holz im Jahr.

Unabhängig davon wird in Brandenburg für die Produktion von Pellets Holz benötigt. Die beiden hier ansässigen Werke verarbeiten bei voller Auslastung jährlich rund 410.000 m³ Holz.

Um eine Doppelbilanzierung der Holzmengen zu vermeiden, werden bei der Bilanzierung ausschließlich die für die Pellet-Produktion benötigten Mengen zum Ansatz gebracht.

Holzteile aus dem Produktionsprozess

In Brandenburg sind große Holz verarbeitende Werke angesiedelt. Im Zuge des jeweiligen Produktionsprozesses fallen dabei unterschiedliche Baumbestandteile als Reste an (u. a. Rinde, Schwarten, Hackschnitzel), die anschließend zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden (z. T. innerhalb der eigenen Produktionskette, z. B. für die Trocknung der Sägeware). Insgesamt werden dabei Baumbestandteile mit einem Äquivalentvolumen von rund 760.000 m³ Frischholz verbrannt.

Gebrauchtholz

Da eine Erfassung der in Kleinf Feuerungsanlagen verbrannten Gebrauchtholzmenge bisher nicht möglich war, kann an dieser Stelle lediglich das in Großfeuerungsanlagen verbrannte Gebrauchtholz dargestellt werden. Die derzeit 13 bestehenden Großanlagen verbrennen demnach jährlich rund 1,2 Mio. m³ Holz.

Bedarf an Holz für die stoffliche Nutzung

Das Marktsegment der stofflichen Nutzung muss aus zwei Gründen mit beachtet werden:

1. die Nachfrage nach Holz für die stoffliche Nutzung beeinflusst direkt auch die Verfügbarkeit von Holz für die energetische Verwertung (Marktüberlappung), und
2. bei richtiger Konfektionierung kann Holz von Energieholzplantagen ebenso gut für die Produktion von Platten oder Zellstoff eingesetzt werden.

In Brandenburg werden in 7 großen und 21 kleinen Holzverarbeitungswerken (einschließlich mobiler Sägewerke) rund 5,7 Mio. m³ Holz verarbeitet. Dabei liegt der Schwerpunkt des Verbrauchs mit rund 4,0 Mio. m³ im Industrieholz.

Angebot von Holz aus Brandenburg

Im Rahmen des Projekts DENDROM wurde auf Basis des Datenspeichers Wald und unter Verwendung der derzeit benutzten Ertragsmodelle bestandesweise der jährliche Baumholzzuwachs für den Gesamtwald Brandenburgs berechnet. Dieser beträgt rund 9,5 Mio. m³ je Jahr (Vorratsfestmeter). Auf Grund der Alterstruktur ist jedoch nicht der gesamte Zuwachs nutzbar. Zudem müssen vom naturalen Zuwachs noch die Ernteverluste (z.B. Stockhöhe) abgezogen werden. Nach ersten Schätzungen beträgt demnach

die jährliche Nutzungsmenge 6,5 Mio. m³ Baumholz bzw. 5,6 Mio. m³ Derbholz. Diese Nutzungsmenge stellt die biologisch gegebene, nachhaltige Obergrenze dar. Sie kann nur erreicht werden, wenn das Holz in Brandenburg zu 100 % mobilisiert werden würde.

Die potenzielle jährliche Nutzungsmenge wird real unter anderem durch folgende harte Faktoren weiter eingeschränkt:

- rechtliche Sanktionen (z. B. Totalreservate, Bodenschutz, Trinkwasserschutz und Horstschutzzonen der Kategorie I),
- Befahrbarkeit des Geländes (z. B. Steilhänge, organische und mineralische Nassstandorte mit flurnahem Grundwasser) und
- Kleinstflächen (zu geringer Nutzungsanfall auf Grund isolierter Lage).

Werden diese Faktoren zusätzlich berücksichtigt, dann reduziert sich die jährlich nutzbare Holzmenge auf 5,7 Mio. m³ Baumholz bzw. 4,9 Mio. m³ Derbholz. Diese Holzmenge könnte nachhaltig bereitgestellt werden, wenn alle Waldeigentümer das Holz ernten würden. Das ist aber auf Grund verschiedener Faktoren eher unrealistisch, wobei die Motivation der Waldeigentümer in diesem Zusammenhang die bedeutendste Rolle spielt. Das Nutzungsverhalten der Waldeigentümer wird demzufolge von einem Komplex „weicher“ (numerisch nicht fassbarer) Faktoren beeinflusst und ist deshalb nur schwer einzuschätzen. Unter der Annahme einer recht hohen Mobilisierungsrate (100 % in den öffentlichen Wäldern, 70 % in den Privatwäldern) beträgt die nachhaltig zur Verfügung stehende Holzmenge schätzungsweise 4,4 Mio. m³.

Bilanzierung und Ausblick

Die jährliche Verarbeitungskapazität des Rohstoffs Holz in Brandenburg übertrifft das nachhaltig nutzbare Angebot um etwa 2,0 Mio. m³. Die Fehlmengen werden derzeit zum einen durch Importe aus anderen Regionen bzw. Ländern und zum anderen durch temporäre Mehreinschläge ausgeglichen. Unter der Prämisse der regionalen Rohstoffbereitstellung ist somit in der Produktion von Energieholz auf Feldflächen eine sinnvolle Ergänzung zur Deckung des Rohstoffbedarfs zu sehen. Dabei ist zu beachten, dass nicht ausschließlich nach Hackschnitzeln sondern auch nach Industrieholz (Rundholz) eine ungebrochene Nachfrage besteht. Folglich sind Substitutionen des Waldholzes mit Holz aus landwirtschaftlichen Energiegehölzen im Hinblick auf die stoffliche und energetische Verwendung möglich. Das ist insofern bedeutsam, da es dem Landwirt hinsichtlich der Baumartenwahl und der Umtriebszeit einen zusätzlichen Entscheidungsspielraum einräumt.

Literatur

- DIETER M., ENGLERT H. et al. (2001):** Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsberichte der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Nr. 2001/11, 45 S.
- KALTSCHMITT M., MERTEN D. et al. (2003):** Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit"; Berlin
- FRITSCH U., DEHOUST G. (2004):** Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse; Verbundprojekt gefördert vom BMU; Darmstadt.
- SCHEUERMANN A., THRÄN D. et al. (2003):** Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG); in: Umweltsicht.

Rechtliche Rahmenbedingungen für den Anbau schnell wachsender Baumarten

Regulatory framework for growing short rotation coppice

Christian Hohm

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV)

Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam

E-Mail: christian.hohm@mluv.brandenburg.de

Zur Darstellung der rechtlichen Situation des Anbaus schnell wachsender Baumarten ist eine Abgrenzung zwischen normalem Ackerland, Dauergrünland und zum Wald gehörenden Flächen notwendig. Weiterhin ist zu unterscheiden, ob der Anbau flächig in Form einer Kurzumtriebsplantage erfolgen soll oder ob zusätzlich zur angestrebten Holznutzung gleichzeitig eine landwirtschaftliche Nutzung auf derselben Fläche in einem Agroforstsystem stattfindet.

Flächiger Anbau als Niederwald im Kurzumtrieb

Grundsätzlich bedeutet der Anbau und die Nutzung von schnell wachsenden Baumarten für den Landwirt eine zusätzliche Einnahmequelle zur normalen landwirtschaftlichen Produktion mit einjährigen Umtriebszeiten. Durch den Aufbau neuer Produktlinien bieten sich neue Marktchancen, was zu einer Verringerung des Betriebsrisikos führt. Durch mehrjährige Umtriebszeiten sinken zudem die Bewirtschaftungskosten (Befahrung, Düngung, PSM usw.) je Flächeneinheit.

Das diese neuen Produktlinien nicht in direkte Konkurrenz zu den herkömmlichen Produkten landwirtschaftlicher Nutzung treten, werden Grenzstandorte als ein mögliches Flächenpotenzial angesehen. Dabei handelt es sich meist um **Stilllegungsflächen**. Weiterhin stellt sich die Frage, ob und in wie weit der Anbau schnell wachsender Baumarten einen Einfluss auf die Betriebsprämie hat.

Auf Stilllegungsflächen können schnell wachsende Baumarten als mehrjährige nachwachsende Rohstoffe (Nutzungscode 517) beihilfeunschädlich angebaut werden. Die zusätzliche Gewährung der Energiepflanzenprämie von 45 €/ha ist auf Stilllegungsflächen jedoch nicht möglich.

Artikel 3 b Absatz 2 VO (EG) Nr. 795/2004

„Im Sinne von Artikel 51 der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 gelten Stilllegungsflächen, die mit Dauerkulturen bepflanzt sind, die zu den in Artikel 55 Buchstabe b der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 genannten Zwecken genutzt werden, ...

als beihilfefähige Flächen, die für die Nutzung von Zahlungsansprüchen bei Flächenstilllegung und Zahlungsansprüchen in Betracht kommen.“

Art. 143 VO (EG) Nr. 1973/2004

„Die stillgelegten Flächen im Rahmen der Direktzahlungsregelungen gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 können gemäß Artikel 55 Buchstabe b) und Artikel 107 Absatz 3 erster Gedankenstrich der genannten Verordnung für die Erzeugung von Ausgangsstoffen, die zur Herstellung von Erzeugnissen in der Gemeinschaft genutzt werden, die unter den Bedingungen dieses Kapitels nicht für den Verzehr oder die Verfütterung bestimmt sind.“

Art. 55 Buchstabe b) VO (EG) Nr. 1782/2003

„Ein Betriebsinhaber ist von der Pflicht nach Artikel 54 ausgenommen, wenn b) die stillgelegten Flächen für die Gewinnung von Rohstoffen genutzt werden, mit denen in der Gemeinschaft Erzeugnisse hergestellt werden sollen, die nicht in erster Linie für Lebensmittel- oder Futtermittelzwecke bestimmt sind, sofern eine wirksame Kontrolle gewährleistet ist.“

Art. 107 Abs. 3 VO (EG) Nr. 1782/2003

„Die stillgelegten Flächen können genutzt werden für die Erzeugung von Rohstoffen, die in der Gemeinschaft zu nicht unmittelbar für Lebensmittel- oder Futtermittelzwecke bestimmten Erzeugnissen verarbeitet werden, sofern wirksame Kontrollsysteme angewandt werden, ...“

148 i.V.m. Anh. XXII VO (EG) Nr. 1973/2004

„Abweichend von Artikel 147 müssen die Ausgangserzeugnisse in Anhang XXII (Schnellwüchsige Forstgehölze mit einer Umtriebszeit von höchstens 20 Jahren, KN-Code: ex 0602 90 41) nicht unbedingt einem Vertrag unterliegen.“

Handelt es sich bei den Flächen nicht um Stilllegungs- sondern um normale **Ackerflächen**, können ebenfalls Zahlungsansprüche aktiviert werden. Allerdings ist es zwingend erforderlich, für diese Flächen gleichzeitig die Energiepflanzenprämie zu beantragen.

Artikel 3 b Absatz 2 VO (EG) Nr. 795/2004

„Im Sinne von Artikel 51 der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 gelten Flächen, die mit Dauerkulturen bepflanzt sind und für die eine Beihilfe für Energiepflanzen gemäß Artikel 88 derselben Verordnung beantragt wurde, als beihilfefähige Flächen, die für die Nutzung von Zahlungsansprüchen bei Flächenstilllegung und Zahlungsansprüchen in Betracht kommen.“

Art. 24 VO (EG) 1973/2004

„Auf den Flächen, die Gegenstand der Beihilfe nach Artikel 88 der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 sind, dürfen alle landwirtschaftlichen Rohstoffe angebaut werden, wenn ihr hauptsächlicher Endverwendungszweck die Herstellung eines der in Absatz 2 des Artikels genannten Energieprodukte ist.“

Art. 88 VO (EG) 1782/2003

„Erzeuger von Energiepflanzen erhalten eine Beihilfe von 45 EUR/ha Anbaufläche pro Jahr nach den Bestimmungen dieses Kapitels. Energiepflanzen sind Pflanzen, die im Wesentlichen zur Herstellung folgender Energieprodukte erzeugt werden: als Biokraftstoffe eingestufte Produkte ..., elektrische und thermische Energie, die aus Biomasse gewonnen wird.“

Für Niederwald mit Kurzumtrieb (KN-Code ex 0602 90 41) bzw. schnellwüchsige Forstgehölze ist die Umtriebszeit auf höchstens 20 Jahre begrenzt. Als ein Umtrieb wird die Zeit einer Aufwuchs- und Ernteperiode gerechnet. Der zweite Umtrieb beginnt dann mit dem Neuaustrieb der im Boden verbliebenen Stöcke. Hinsichtlich der Nutzungsdauer der Anlage bestehen keine Beschränkungen. Die Nutzungsdauer ist die Zeitspanne zwischen der Pflanzung bzw. dem Stecken von schnellwüchsigen Forstgehölzen und deren Rodung bzw. die Wiederherstellung des ursprünglichen Flächenzustandes.

Anh. XXII VO (EG) Nr. 1973/2004

Schnellwüchsige Forstgehölze mit einer Umtriebszeit von höchstens 20 Jahren, KN-Code: ex 0602 90 41).

Neben den Fragen zu Zahlungsansprüchen besteht bei Landwirten die größte Sorge darin, dass mit der Anlage eines Niederwaldes im Kurzumtrieb Forstrecht berührt wird bzw. diese Flächen rechtlich als Wald behandelt werden könnten.

Im Bundeswaldgesetz (BWaldG) ist abschließend festgeschrieben, was Wald im Sinne dieses Gesetzes ist bzw. welche Flächen vom Waldbegriff ausgenommen werden dür-

fen. Kurzumtriebsplantagen sind darin nicht aufgeführt. Auch das Landeswaldgesetz (LWaldG) enthält hierzu keine Bestimmungen. Mit dem Gesetz zur Bereinigung des Bundesrechtes vom 13. April 2006 sind diese Regelungen allerdings überholt. Es gilt der Status „landwirtschaftlich genutzte Fläche“ solange Zahlungsansprüche für die Flächen angemeldet werden. Das Recht zur Rückführung ist festgeschrieben.

Gesetz zur Gleichstellung stillgelegter und landwirtschaftlich genutzter Flächen vom 10. Juli 1995 (BGBl. I S. 910), geändert durch Artikel 62a des Gesetzes vom 13. April 2006 (BGBl. I S. 855)

„Flächen, die nach Maßgabe der Rechtsakte der Organe der Europäischen Gemeinschaften über Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik oder über sonstige Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe stillgelegt worden sind, gelten weiterhin als landwirtschaftlich genutzte Flächen. Als stillgelegt gelten auch die Flächen, die nach Maßgabe der Rechtsakte der Organe der Europäischen Gemeinschaften über Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik 1. für den Anbau von Kurzumtriebswäldern genutzt oder 2. nicht mehr für die Erzeugung genutzt werden, soweit diese Flächen für die Nutzung von Zahlungsansprüchen für die einheitliche Betriebsprämie angemeldet worden sind. ... Insbesondere bleibt das Recht, diese Flächen nach Beendigung der Stilllegungsperiode in derselben Art und demselben Umfang wie zum Zeitpunkt vor der Stilllegung nutzen zu können, unberührt.“

Da es sich um landwirtschaftliche Flächen handelt, ist für den Anbau von schnell wachsenden Forstgehölzen (Niederwald im Kurzumtrieb < 20 Jahre) keine forstrechtliche Genehmigung nach § 9 LWaldG Erstaufforstungsgenehmigung notwendig. Ferner gilt bei der Ernte von Energieholzflächen nicht das Kahlschlagsverbot nach § 10 LWaldG.

Nach mündlicher Auskunft durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) vom 20. April 2007 befindet sich das BWaldG derzeit im Novellierungsprozess. Unter anderem ist beabsichtigt, Niederwälder im Kurzumtrieb vom Waldbegriff auszunehmen.

Bezüglich der Baum- und Strauchartenwahl beim Anbau von Energieholz gibt es keine Einschränkungen. Entscheidend ist der Verwendungszweck. Der KN-Code ex 0602 90 41, der aus dem Internationalen Übereinkommen über das harmonisierte System zur Bezeichnung und Codierung der Waren stammt, umfasst sowohl Forstpflanzen als auch andere Gehölze. Damit können alle Baum- und Straucharten beihilfeunschädlich verwendet werden.

Art. 88 VO (EG) 1782/2003

„Energiepflanzen sind Pflanzen, die im Wesentlichen zur Herstellung folgender Energieprodukte erzeugt werden: als Biokraftstoffe eingestufte Produkte ..., elektrische und thermische Energie, die aus Biomasse gewonnen wird.“

Das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) ist die rechtliche Grundlage für die Berücksichtigung der Herkunftssicherheit und der genetischen Vielfalt von forstlichem Vermehrungsgut. Es ist anzuwenden bei der Erzeugung, dem Inverkehrbringen sowie bei der Ein- und Ausfuhr von Vermehrungsgut, welches für die Verwendung im bzw. zu Wald vorgesehen ist. Unter die Regelungen des FoVG fallen etwa 50 einheimische und eingebürgerte Baumarten, darunter auch die Gattung Pappel. Bundesweit besteht kein Konsens darüber, ob das FoVG bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen anzuwenden ist. Im Gesetz selbst ist nur gesagt, dass es anzuwenden ist, wenn ein „forstlicher Zweck“ verfolgt wird, ohne jedoch diesen „forstlichen Zweck“ näher zu definieren. In Brandenburg wird der Standpunkt vertreten, dass auf Flächen, welche rechtlich eindeutig den Landwirtschaftlichen zuzuordnen sind und ein Durchwachsen zu Wald faktisch ausgeschlossen ist, kein forstlicher Zweck verfolgt wird. Aus diesem Grund findet das FoVG in Brandenburg keine Anwendung.

Die Anlage von Kurzumtriebswäldern auf **Grünland** ist unter der Option möglich, dass eine Umwandlung in Ackerland erfolgt. Zahlungsansprüche können dann analog dem Ackerland (erst Energiepflanzenprämie) aktiviert werden.

Eine Genehmigungspflicht müssen die Bundesländer verordnen, wenn sich der Dauergrünlandanteil im Land um über 5 % gegenüber dem Basiswert reduziert hat. Die Pflicht zur Wiederansaat kann vorgeschrieben werden, wenn er sich um mehr als 8 % verringert hat und muss vorgeschrieben werden, wenn er sich um mehr als 10 % verringert hat.

Ein Betrieb darf Grünland jedoch nur umbrechen, solange der Umbruch nicht durch spezielle prämierelevante Verordnungen, insbesondere der Teilnahme am KULAP, spezielle Regelungen bezüglich dem Erhalt von Dauergrünland (cross compliance) oder andere ordnungsrechtliche Regelungen, insbesondere des Natur- und Umweltschutzes untersagt bzw. genehmigungspflichtig ist. So dürfen zum Beispiel Flächen der naturschutzrechtlich besonders geschützten Lebensraumtypen des Graslandes der FFH-Richtlinie, für Habitats der Arten der FFH- und Vogelschutzrichtlinie sowie weitere naturschutzrechtlich geschützte Flächen grundsätzlich nicht umgebrochen werden.

Art. 44 Abs. 2 VO (EG) Nr. 1782/2003

„Eine „beihilfefähige Fläche“ ist jede landwirtschaftliche Fläche des Betriebs, die als Ackerland oder Dauergrünland genutzt wird ...“

„Voraussetzung für die Gewährung einer Zuwendung ist, daß der Zuwendungsempfänger sich verpflichtet, für die Dauer von fünf Jahren ... auf der landwirtschaftlichen Fläche

des Betriebes kein Dauergrünland in Ackerland umzuwandeln ...“ (1) KULAP 2000 Ziff. II.3.4)

Art. 3 und 4 VO (EG) 796/2004

„Unbeschadet der in Artikel 5 Absatz 2 Unterabsatz 3 der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 vorgesehenen Ausnahmen stellen die Mitgliedstaaten gemäß Absatz 1 desselben Artikels sicher, dass das Verhältnis von als Dauergrünland genutzten Flächen zu der gesamten landwirtschaftlichen Fläche im Sinne der Definition gemäß Artikel 2 Buchstabe a) der Verordnung (EG) Nr. 795/2004 der Kommission (1) erhalten bleibt. Diese Verpflichtung findet auf nationaler oder regionaler Ebene Anwendung.“

Art. 5 Abs. 2 VO (EG) 1782/2003

„Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass Flächen, die zu dem für die Beihilfenanträge „Flächen“ für 2003 vorgesehenen Zeitpunkt als Dauergrünland genutzt wurden, als Dauergrünland erhalten bleiben.“

Anbau in Agroforstsystemen

In Agroforstsystemen finden die Nutzung von Bäumen und eine herkömmliche landwirtschaftliche Produktion auf der gleichen Fläche statt. Man unterscheidet hier silvipastorale (Futter und Gehölze) und silvorable (einjährige Nutzpflanzen und Gehölze) Systeme. Bekannte Agroforstsysteme sind zum Beispiel Steuobstwiesen oder alley-cropping-systeme. Während die oben beschriebenen Kurzumtriebsplantagen bereits aus der Modellphase heraus in der Praxis umgesetzt werden, gibt es für Agroforstsysteme mit dem Ziel der sekundären Holznutzung in Deutschland nur wenige Beispiele. Wenn auch ursprünglich mit anderen Zielen angelegt, kommen in Brandenburg die Windschutzstreifen auf Ackerflächen diesen Systemen nahe.

Damit die Fläche beihilfefähig bleibt, muss deren landwirtschaftlicher Charakter erhalten bleiben. Das ist gegeben, wenn auf der Fläche nicht mehr als 50 Bäume stehen.

Auszug aus der Arbeitsunterlage Dok.AGRI/60363/2005 für die Durchführung von Vor-Ort-Kontrollen: „In Übereinstimmung mit Artikel 8, Abs.1 der Verordnung (EG) 796/2004 können Flächen, die mit Gehölzen bestanden sind- besonders solchen, deren Bäumen unter Umständen für die Holzzerzeugung genutzt werden können – wenn sie eine Baumdichte von 50 Bäumen/ha aufweisen, in der Regel nicht als beihilfefähig angesehen werden.“

Werden die Einzelbäume oder Gehölzteile des Agroforstsystems als Landschaftselement angemeldet, dann sind diese Flächen grundsätzlich als Bereicherung für die Landschaft beihilfefähig. Die Anerkennung als Landschaftselement bedingt jedoch auch eine Reihe von Nachteilen, welche eine Nutzung als Agroforstsystem unattraktiv machen. So unterliegen die Landschaftselemente einem Beseitigungsverbot, Baumschutzregelungen und Abstandsaufgaben für den PSM-Einsatz. In Anbetracht der Tatsache, dass die meisten landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg Pachtland sind, könnte diese monetären Flächenentwertung Konflikte in sich bergen.

Eine Förderung der Anlage eines Agroforstsystems mit schnell wachsenden Forstgehölzen als Energiepflanzen ist nicht beihilfefähig im Sinne der VO (EG) 1698/2005 (ELER).

Art. 44 VO (EG) Nr. 1698/2005

„Agrarforstsysteme sind Landnutzungssysteme, bei denen eine Fläche von Bäumen bewachsen ist und gleichzeitig landwirtschaftlich genutzt wird. Die Beihilfe wird nicht für Weihnachtsbaumkulturen und Kulturen von schnell wachsenden Arten mit kurzer Umtriebszeit gewährt.“

Denkbar ist die Möglichkeit, Agroforstsysteme mit Gehölzstreifen anzulegen und diese Gehölzstreifen dann von der übrigen Fläche herauszumessen und als Stilllegungsflächen anzumelden. Diese würden dann analog den Stilllegungsflächen behandelt werden.

Fazit

Abschließend ist zu sagen, dass bereits viele Landwirte die Vorteile von Produktdiversifikation und Low-input-Systemen erkannt haben. Bezüglich der rechtlichen Einordnung dieser Flächen gibt es jedoch noch große Unsicherheiten. Aufgabe der Politik und der Verwaltungen ist es, eine rechtliche Klarheit, insbesondere in Bezug auf Agroforstsysteme herzustellen und diese entsprechend bekannt zu machen. Mit Blick auf die nächste EU-Agrarreform ist zu vermuten, dass die Agrarsubventionen abgesenkt werden. Gleichzeitig nimmt die Bedeutung von nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Verwendung stetig zu. Entscheidet sich ein Betrieb heute dazu, seine landwirtschaftliche Produktion um Holz zu erweitern, können mögliche negative Folgen der zu erwartenden Agrarreform von einer breiten Produktpalette aufgefangen werden.

Mechanisierung der Feldholzproduktion

Mechanization of SRC production

Volkhard Scholz

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
E-Mail: vscholz@atb-potsdam.de

Kurzfassung

Die Mechanisierung des Anbaus und der Ernte von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen ist Voraussetzung für eine zügige und kostengünstige Bereitstellung dieses Bioenergieträgers. Die Pflanzung und insbesondere die Ernte bilden diesbezüglich einen Schwerpunkt. Bei der Ernte werden drei Verfahrenslinien unterschieden, die Stammholz-, die Bündel- und die Hackgutlinien, die je nach Rotationsdauer, Lagermöglichkeit und Nutzungstechnologie ihre Anwendung finden. In der Vergangenheit wurden weltweit mehr als 30 verschiedene Erntemaschinen bzw. -aggregate entwickelt, die jedoch nur in wenigen Fällen über das Prototypstadium herausgekommen sind. Nachfolgend werden aussichtsreiche Entwicklungen vorgestellt und soweit verfügbar die wichtigsten technologischen Daten dazu angegeben.

Schlüsselwörter: Schnellwachsende Baumarten, Pflanzung, Ernte, Technik

Einleitung

Für die Einführung der Produktion von schnellwachsenden Baumarten in die landwirtschaftliche Praxis ist die Mechanisierung der Verfahren eine wesentliche Voraussetzung. Einen besonderen Schwerpunkt bilden hierbei die Arbeitsabschnitte Pflanzen und Ernten, die je nach Verfahren 20 bis 60 % der Gesamtkosten ausmachen. Da während des gesamten Nutzungszeitraums eine Feldholzfläche zwar nur einmal gepflanzt jedoch bis zu 15 Mal geerntet wird, dominieren die Erntekosten. Für die Hackschnitzeltechnologie werden sie in der Literatur mit 8 bis 28 Euro pro Tonne geernteter Trockenmasse angegeben, wobei in Ermanglung aktueller und zuverlässiger technologischer Daten zur Erntetechnik häufig auf Annahmen zurückgegriffen wird (**Bild 1**).

Nachfolgend wird - soweit die Datenlage es erlaubt - der aktuelle Stand der Pflanz- und Erntetechnik zu schnellwachsenden Baumarten (Energie-, Feld-, Agrargehölze) dargestellt. Dabei wird sowohl auf Literatur- und Herstellerangaben als auch auf eigene Untersuchungen zurückgegriffen. Sofern verfügbar, werden für aussichtsreich erscheinende

Mechanisierungslösungen die technologisch und wirtschaftlich relevanten Leistungsparameter und Preise angeben.

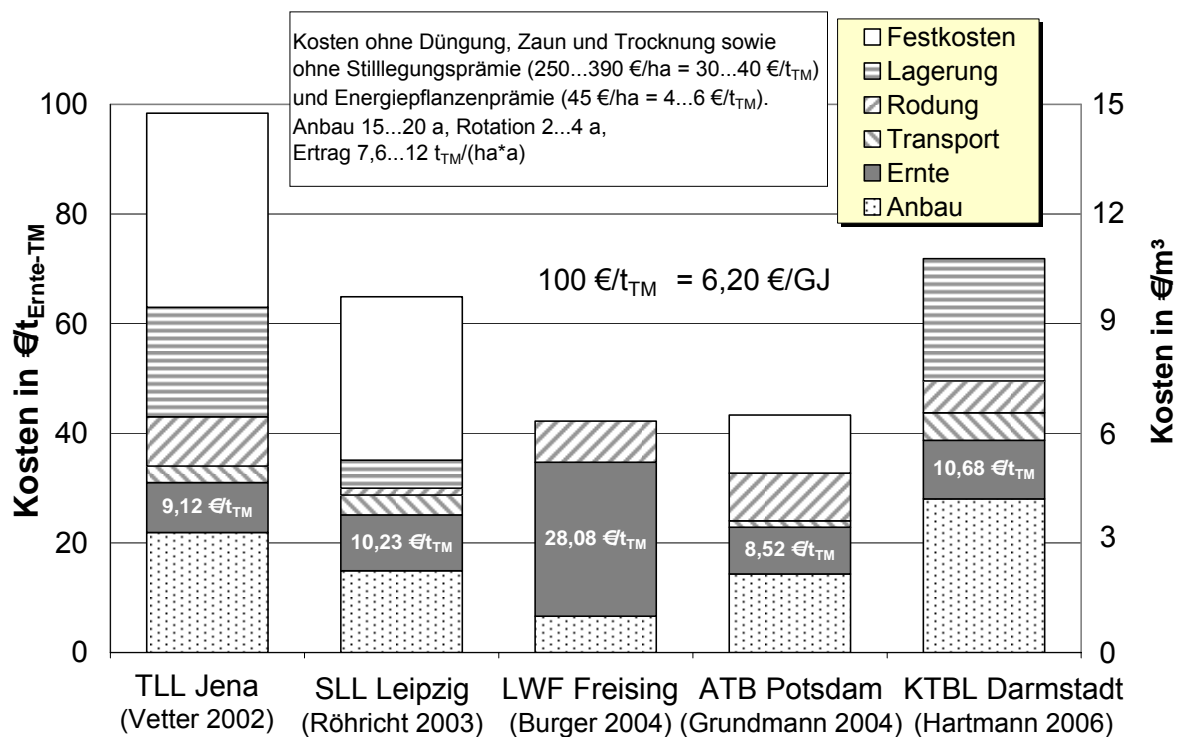


Bild 1: Kostenkalkulationen für die Produktion von Feldholz-Hackschnitzeln (Literaturlauswertung)

Pflanztechnik

In der Vergangenheit wurden - vorwiegend in Schweden und Dänemark - wenigstens 7 verschiedene Feldholz-Pflanzmaschinen entwickelt und erprobt, von denen derzeit offenbar noch vier auf dem Markt verfügbar sind. Diese vorzugsweise für Weiden vorgesehene Maschinen pflanzen Stechhölzer von ca. 20 cm Länge, verwenden jedoch als Ausgangsmaterial bis zu 2,5 m lange Ruten. Sie pflanzen bis zu 6 Reihen gleichzeitig, teilweise allerdings nur in den in Skandinavien bevorzugten Doppelreihenabständen von 0,75 m + 1,5 m (DANFORS 1998) (**Tabelle 1**) (**Bild 2**).



Bild 2: Vierreihige Steckholzpflanzmaschine mit Rutenbeschickung (Foto: Fa. Egedal Maskinfabrik A/S)

Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass in einem Fall auch eine modifizierte Zuckerrohrpflanzmaschine eingesetzt wurde, die lose in Behältern lagernde 20 cm-Steckhölzer verwendet (HENRIKSSON 2006). Und in einem andern Fall ist eine Maschine (Lay-Flat Planter) getestet worden, die die (Lege-) Ruten horizontal in den Boden legt (ANONYMUS 2002). Die mitunter in der Literatur empfohlenen Forstpflanzmaschinen sind für Feldholz eher ungeeignet, da diese überwiegend für wurzelnackte, Container- oder Ballenpflanzen konzipiert sind.

In der Praxis werden hin und wieder auch konventionelle landwirtschaftliche Pflanzmaschinen eingesetzt. Diese für Gemüse, Tabak, Wein und ähnliche Pflanzen vorgesehene Maschinen sind offenbar bedingt auch für Steckhölzer geeignet. Da sie in der Landwirtschaft meist verfügbar sind, liegt der Vorteil auf der Hand. Allerdings müssen technische Lösungen gefunden werden, um die erforderliche Pflanztiefe von ca. 20 cm zu gewährleisten.

Tabelle 1: Technische Daten geeigneter Steckholz-Pflanzmaschinen

		Pflanzmaschine für orig. Steckhölzer	Pflanzmaschinen mit integriertem Zuschnitt der Ruten		
Typ	-	Fröebbesta Planter	Step Planter	Energy Planter	Woodpecker 601
Hersteller	-	Bo Franzen (S)	Salix Maskiner AB (S)	Egedal Maskinfabrik (DK)	Agrobränsle AB (S)
Entwicklungsstand	-	Produktion eingestellt	Kleinserie	Kleinserie	Prototyp
Eigenmasse	kg	-	1.400	2.800	-
Traktor-Leistung ¹⁾	kW	≥ 35	≥ 50	≥ 70	-
Stecklingslänge	cm	10 ... 30	20	20	20
Stecklingsdurchmesser	cm	≤ 2,5	≤ 3	0,4 ... 3	-
Reihenzahl	-	2	4	4	6
Reihenabstand ²⁾	m	variabel	0,75 + > 1,0	0,75 + 1,5	0,75 + 1,5
Pflanzabstand	cm	variabel	10 ... 100	variabel	-
Flächenleistung ³⁾ (HZ)	ha/h	0,25...0,6	0,7 ... 1,75	1,2 ... 2,8	-
Flächenleistung ³⁾ (AZ)	ha/h	-	0,5 ... 1,2	0,8 ...2,1	-
Dieserverbrauch, kalk.	l/h	4	6	8	-
Personal, incl. Fahrer	-	3	3	3	4
Ca.-Preis ohne MwSt.	€	-	48.600	35.000	-

¹⁾ Standardtraktor mit Heckzapfwelle und Dreipunktaufhängung
²⁾ Der zweite Summand gilt für den Abstand zwischen benachbarten Doppelreihen
³⁾ Gültig für Hauptzeit (HZ) bzw. Ausführungszeit (AZ)

Erntetechnik

Verfahrensübersicht

Die Ernteverfahren können grundsätzlich in Stammholz-, Bündel- und Hackgutlinien unterteilt werden, deren Produkte Stammabschnitte, lose oder gebundene Bündel und Hackschnittel sind (SCHOLZ *et al.* 2006). Die erstgenannten Verfahrenslinien kommen fast ausschließlich für die stoffliche Nutzung des Holzes in Frage, während die Bündel- und Hackgutlinien zwar auch für stoffliche Wandlungstechnologien genutzt werden (Flechtarbeiten, Spanplatten usw.), jedoch vorzugsweise für energetische Zwecke Anwendung finden (**Bild 3**).

Die Schüttgut-, also die Hackgutlinien, verursachen im allgemeinen die geringsten Ernte- und Transportkosten und werden daher für die Energiegewinnung bevorzugt. Wie Untersuchungen des ATB Potsdam-Bornim zeigen, ist die Lagerfähigkeit von Hackgut allerdings sehr begrenzt. Feinhackschnitzel bewirken bei unbelüfteter Lagerung eine hohe Schimmelpilzbelastung und bis zu 30 % Trockenmasseverluste pro Jahr. Bei Grobhackgutlinien sind diese unerwünschten Effekte deutlich geringer ausgeprägt (SCHOLZ *et al.* 2005a, SCHOLZ *et al.* 2005b).

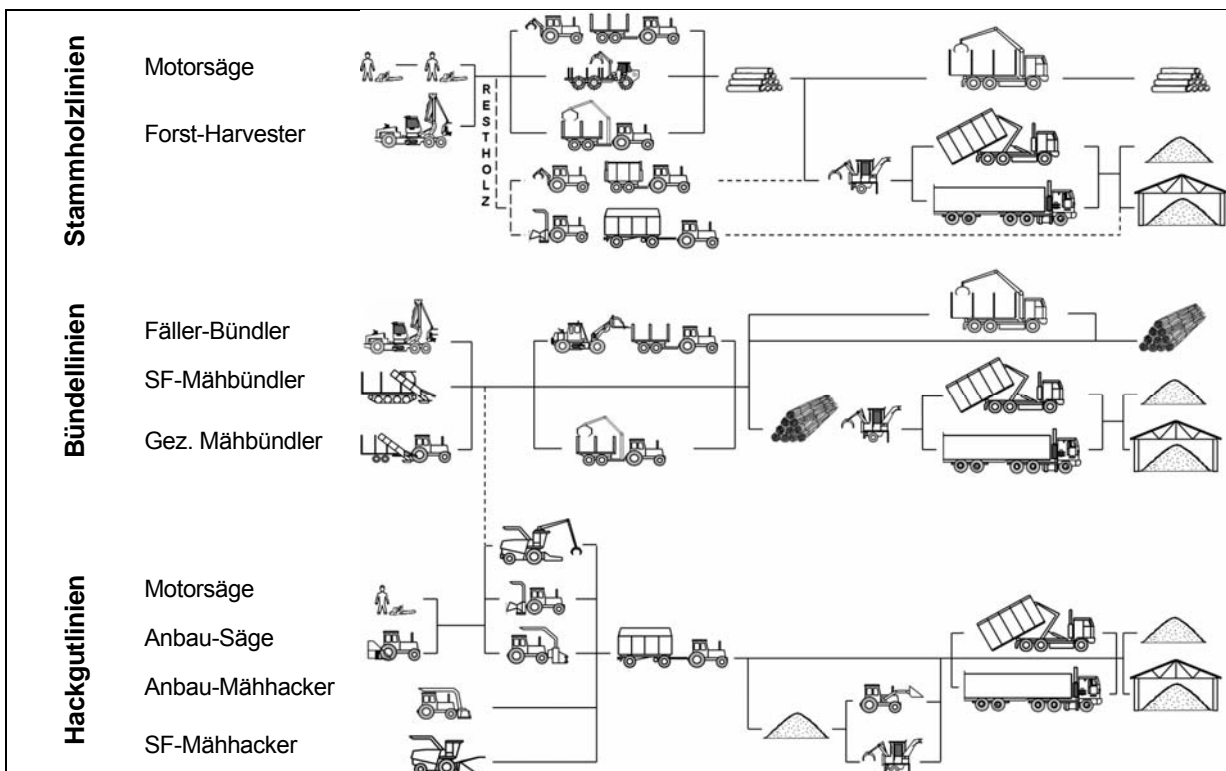


Bild 3: Systematisierung der Ernte- und Nachernteverfahren für schnellwachsende Baumarten

Erntemaschinen für Stammholzlinien

Für die Gewinnung von Stammholz, das Umtriebszeiten, also Ernteintervalle von mindestens 10 Jahren erfordert, kommt vorwiegend konventionelle Forsttechnik zum Einsatz, also manuelle Motorsägen oder Forstharvester (mit Prozessorkopf), die fällen, entasten und die Stammabschnitte in den gewünschten Längen bereit legen (**Bild 4**). Kronenderholz und Äste werden bei Bedarf abgefahren und/oder mit einem mobilen Hacker gehackt.

Leistungsdaten und Kosten von geeigneten Stammholzerntemaschinen für Pappeln wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Freising (LWF) sowie vom Staatsbetrieb Sachsenforst Graupa ermittelt (BURGER 2004, WOLF & SCHILDBACH 2006).



Bild 4: Fortsharvester Valmet 901 bei der Ernte von 10-jährigen Pappeln (Foto: Lorbacher, ATB)

Erntemaschinen für Bündellinien

Unter Bündellinien, auch Sammel- oder Rutenlinien genannt, werden Verfahrenslinien verstanden, bei denen die Bäume bzw. Triebe in einem Arbeitsgang gefällt und gesammelt werden und somit als lose oder mit Draht oder Garn umwickelte Bündel vorliegen. Für intermittierende Verfahren kann Forsttechnik eingesetzt werden, wie z. B. der Forstharvester mit Fäller-Bündler-Kopf (BURGER & SCHOLZ 2004). Wegen der geringen Flächenleistung ist dieser jedoch vorwiegend für Bestände mit langen Umtriebszeiten geeignet, allerdings nur bis zu einem Schnitt- bzw. Wurzelhalsdurchmesser von 200 bis 300 mm. Die in den Zwischenreihen abgelegten losen (nicht gebundenen) Bündel werden anschließend, d. h. spätestens bis Mai, gehackt und/oder abgefahren (**Bild 5**) (**Tabelle 2**).



Bild 5: Fäller-Bündler der Fa. Timberjack bei der Ernte von Pappeln (Foto: Burger, LWF)

Tabelle 2: Ausgewählte Fäller-Bündler

		Fäller-Bündler			
Typ	-	TJ 720	EH 220	Fäll-Sammler Aggregat	Naarva-Koura 1000-23E
Hersteller	-	Timberjack (SF)	Warath Forestry Attachm. (USA)	Silvatec A/S (DK)	Pentin Paja Oy (SF)
Entwicklungsstand	-	Kleinserie	Kleinserie	Kleinserie	Kleinserie
Eigenmasse	kg	340	340	480	300
Basismaschine	-	Forstharvester	Forstharvester	Forstharvester	Trakt., Forstharv.
Leistungsbedarf	kW	≥ 60	-	-	-
Reihenabstand	m	nicht begrenzt	nicht begrenzt	nicht begrenzt	nicht begrenzt
Öffnungsweite	mm	-	-	1150	750
Schnittkraft	kN	-	115	-	95
Schnittdurchmesser	mm	≤ 200	≤ 200	≤ 300	≤ 230
Massedurchsatz	t _{atro} /h	3...4	-	-	-
Flächenleistung	ha/h	0,07...0,1	-	-	-
Dieserverbrauch, kalk.	l/h	8	-	-	-
Personal, incl. Fahrer	-	1	1	1	1
Ca.-Preis ohne MwSt.	€	27.000	-	-	-

Die Vorzüge des Reihenbestandes nutzen so genannte Mähbündler, die kontinuierlich und gleichzeitig die Bäume (Triebe) mähen (fällen) und auf der Ladefläche bündeln (sammeln). Die Bündel, also die gesamte Ladung, wird meist am Feldrand abgekippt. Dort können sie unbegrenzte Zeit lagern und werden bei Bedarf gehackt und/oder abgefahren. Prinzipiell muss zwischen selbstfahrenden (SF) und von Traktoren gezogene Maschinen unterschieden werden (**Tabelle 3**).

Tabelle 3: Ausgewählte Mähbündler-Entwicklungen

		Mähbündler			
Typ	-	Fröbbesta 92	Whole Rod Harvester	Nordic All Rounder	Bündler
Hersteller	-	Bo Franzen (S)	Nordic Biomass (DK)	Nordic Biomass (DK)	Salixsphere (S)
Entwicklungsstand	-	Produkt. eingestellt	Prototyp	Prototyp	Kleinserie
Eigenmasse	kg	3.100	< 3.000	-	-
Basismaschine	-	Traktor ¹⁾	Traktor ¹⁾	Selbstfahrer	Traktor ¹⁾
Leistungsbedarf	kW	≥ 80	≥ 50	75	≥ 50
Reihenzahl	-	2	1	2	2
Reihenabstand ²⁾	m	0,75 + 1,50	0,75 + 1,50	0,75 + 1,50	0,75 + 1,50
Bündelform	-	lose	lose	lose	Netzbündel
Schnittdurchmesser	mm	≤ 70	≤ 70	-	≤ 80
Massedurchsatz	t _{atro} /h	10 ... 20	-	-	-
Flächenleistung ³⁾ (HZ)	ha/h	0,6 ... 0,9	0,2...0,25	0,25...0,5	-
Flächenleistung ³⁾ (AZ)	ha/h	0,4 ... 0,5	-	-	-
Dieserverbrauch, kalk.	l/h	18	-	-	-
Personal, incl. Fahrer	-	1	1	1	1
Ca.-Preis ohne MwSt.	€	67.000	-	-	-

¹⁾ Standardtraktor mit Heckzapfwelle und Anhängerkupplung

²⁾ Der zweite Summand gibt den erforderlichen Abstand zwischen benachbarten Doppelreihen an

³⁾ Gültig für Hauptzeit (HZ) bzw. Ausführungszeit (AZ)

Aus der Literatur sind insgesamt 14 Mähbündler-Entwicklungen, insbesondere aus Schweden bekannt, die jedoch kaum über das Versuchs-Stadium herausgekommen sind (DANFORS 1992). Lediglich der gezogene Mähbündler Fröbbesta 92 der mittlerweile geschlossenen Firma Bo Franzen (**Bild 6**) und die gezogenen bzw. selbstfahrenden Mähbündler der Firmen Salixsphere und Nordic Biomass kommen in der Praxis noch zum Einsatz, und zwar vorwiegend für die Ernte junger Weiden zur Gewinnung von Ruten.



Bild 6: Gezogener Mähbündler Fröbbesta 92 der Fa. Bo Franzen bei der Ernte von Weiden (Foto: Scholz, ATB)

Erntemaschinen für Hackgutlinien

Bei den Hackgutlinien muss zwischen der Einphasen- und der Zweiphasenernte unterschieden werden, d.h. zwischen Kombination oder zeitlicher Trennung der Arbeitsgänge Mähen (Fällen) und Hacken.

Zweiphasenernte

Bei der Zweiphasenernte erfolgen das Mähen und das Hacken, inkl. Verladen, in zwei separaten Arbeitsgängen. Im ersten Arbeitsgang werden die Bäume motormanuell oder mit einer so genannten Anbausäge gefällt, d.h. mit einer seitlich an einen Traktor angebrachten (Ketten-) Säge, die wie ein in der Landwirtschaft gebräuchliches Anbaumähwerk arbeitet, die Bäume jedoch weitgehend ausgerichtet ablegt (LUGER 1999). Die Entwicklung dieses Aggregates wurde allerdings eingestellt.

Im zweiten Arbeitsgang werden die in Reihe (Schwad) liegenden Bäume mit einem mobilen Hacker mit oder ohne Greiferarm (intermittierend) gehackt. Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz eines so genannten Reihen- oder Schwadhackers, also eines kontinuierlich arbeitenden Front- oder Heck-Anbauhackers mit Pick-up-Trommel, wie er u. a. zum Schreddern von gerodeten, in Reihen liegenden Obstbäumen genutzt wird (**Bild 7**).

Der Nachteil der Zweiphasenernte ist, dass bei den üblichen Reihenabständen jeweils nur eine Reihe gefällt und anschließend in Gegenrichtung gehackt werden muss, bevor die nächste Reihe in Angriff genommen werden kann. Eine Lösung hierfür bietet u. U. das versetzte Beetverfahren, welches allerdings den gleichzeitigen Einsatz beider Maschinen erfordert.



Bild 7: Anbau-Schwadhacker Jordan-Reihenhacker 25 der Fa. ForstTech GmbH (Foto: Scholz, ATB)

Einphasenernte

Bei der Einphasenernte, die mit so genannten Mähhackern erfolgt, besteht dieses Problem nicht. Hier werden selbstfahrende Maschinen und Anbauaggregate verwendet, die die Bäume in einem Arbeitsgang mähen und hacken. Dieses sehr effiziente Arbeitsprinzip wurde weltweit in insgesamt mehr als 20 Entwicklungen technisch umgesetzt, allerdings selten bis zur Praxisreife geführt. Als aussichtsreich erscheinen die modifizierte Zuckerrohrerntemaschine der Firma Austoft/Case (Australien) und die beiden speziellen Feldhäcksler-Schneidwerke der Firmen CLAAS Harsewinkel und HTM Soltau-Mittelstendorf sowie der für den Frontanbau an Traktoren vorgesehene Mähhacker, der auf einer Erfindung der Kollegen Wieneke und Döhler aus Göttingen und Diemelstadt beruht (WIENEKE 1993, DÖHLER 1995). Mit Ausnahme des Claas-Schneidwerkes handelt es sich hierbei im Wesentlichen um Prototypen, die ihre Praxistauglichkeit erst im beschränkten Umfang nachgewiesen haben (WIPPERMANN & STAMPFER 1995, HARTMANN & THUNEKE 2005, SPINELLI 2001, BURGER & SOMMER 2005, SCHOLZ *et al.* 2006) (**Tabelle 4**).

Die beiden Feldhäcksler-Schneidwerke erzielen hohe Flächenleistungen, sind jedoch aufgrund der horizontal gelagerten Einzugsrollen im wesentlichen nur für Weide und sehr junge Pappelbestände (bis zu ca. 2 Jahren) geeignet. Der Schnittdurchmesser ist auf ca. 70 mm begrenzt (**Bild 8**).

Tabelle 4: Aussichtsreiche Mähacker-Entwicklungen

		Mod. Zucker- rohrernter	Feldhäcksler- Spezialschneidwerke		Anbau- Mähacker
Typ	-	Austoff 7700	Salix-Vorsatz- gerät HS-2	Woodcut 750	Gehölz- Mähacker
Hersteller	-	Austoff Industries (AUS)	Claas KG mbH Harsewinkel	HTM GmbH Soltau	Fa. Lochner, Preuss GmbH
Entwicklungsstand	-	Prototyp	Kleinserie	Prototyp	Prototyp
Eigenmasse	kg	12.500	1.300	ca. 2.000	1.200
Basismaschine	-	Selbstfahrer	Claas-Häcksler Jaguar ¹⁾	Krone- Häcksler BIG X ¹⁾	Landw. Traktor ²⁾
Leistungsbedarf	kW	216	≥ 245	≥ 360	≥ 80
Masse der Basismaschi- ne	kg	s.o.	≥ 10.800	≥ 13.500	≥ 4.000
Reihenzahl/Schnittbreite	-/mm	2 / 1.000	2 / 1.000	2 / 1.300	1 / 560
Reihenabstand ³⁾	m	0,75 + ≥1,4	0,75 + ≥1,5	0,75 + ≥1,5	≥ 0,9
Schnittdurchmesser	mm	< 70	< 70	< 70	< 120
Mittlere Hacklänge (x ₅₀)	mm	> 80	5 ... 40	5 ... 30	50 ... 100
Massedurchsatz ⁴⁾ (HZ)	t _{atro} /h	≤ 20	≤ 30	≤ 30	≤ 15
Flächenleistung ⁴⁾ (HZ)	ha/h	0,2 ... 0,6	0,5 ... 1,3	0,5 ... 1,2	0,2 ... 0,5
Flächenleistung ⁴⁾ (AZ)	ha/h	0,1 ... 0,4	0,3 ... 1,0	0,3 ... 1,0	0,1... 0,4
Dieserverbrauch, kalk.	l/h	30	40	50	15
Personal incl. Fahrer	-	1	1	1	1
Ca.-Preis ohne MwSt.	€	195.000	110.000	-	< 30.000

¹⁾ Standard-Feldhäcksler mit Forstbereifung und Spezialvorsatz, z.T. mit verstärkter Trommel, Zusatz-Hydraulik und Unterbodenschutz

²⁾ Standardschlepper mit Frontzapfwelle und 3-Punkt-Frontaufhängung

³⁾ Die zweite Summand gibt den Abstand zwischen benachbarten Doppelreihen an. Mit dem Anbau-Mähacker können ggf. auch Doppelreihen geerntet werden, bei Reihenabständen < 1,0 m allerdings nur mit Pflegereifen.

⁴⁾ Gültig für Hauptzeit (HZ) bzw. Ausführungszeit (AZ)



Bild 8: Claas-Feldhäcksler mit Feldholz-Schneidwerk HS-2 bei der Ernte von Weiden (Foto: Spikermann, ATB)

Wie Messungen des LWF Freising und des ATB Potsdam-Bornim zeigen, eignet sich der mit einer vertikalen Hackschnecke ausgerüstete Anbau-Mähhackers für Pappeln und Weide bis zu einem Schnittdurchmesser von ca. 120 mm, erzielt jedoch infolge des einreihigen Betriebs geringere Flächenleistungen als die o. g. zweireihigen Schneidwerke. Daher entwickelt die Universität Göttingen zurzeit eine mehrreihige Version dieses Anbau-Mähhackers (**Bild 9**).



Bild 9: Einreihiger Anbau-Mähhackers bei der Ernte von Pappeln (Foto: Scholz, ATB)

Neben Flächenleistung und Schnittdurchmesser ist die Hackschnitzelqualität ein wichtiger Leistungsparameter der Mäh Hacker. Die Häckseltrommeln der Feldhäcksler erzeugen gleichmäßige, aber kurze Hackschnitzel unter 40 mm, die für die Lagerung ungeeignet sind, während die Hackschnecke des Mäh Hackers lange, aber ungleichmäßige Hackschnitzel über 50 mm produziert, die zwar lagerfähig sind, allerdings Schwierigkeiten bei der weiteren Verarbeitung bereiten können.

Zusammenfassung und Ausblick

Da die Produktion schnellwachsender Baumarten ein relativ junges Produktionsfeld der Landwirtschaft ist, gibt es trotz erstaunlich vieler Entwicklungsansätze nur wenig gesicherte Ergebnisse und Erfahrungen zur Technik. Sie wurden bzw. werden vor allem in landwirtschaftlichen Betrieben in Skandinavien sowie in landtechnischen und forstwirtschaftlichen Forschungseinrichtungen in Schweden, Bayern, Niedersachsen und Brandenburg gewonnen.

Für das Pflanzen sind derzeit mindestens drei leistungsfähige Aufsattelmaschinen am Markt verfügbar, die mit Ruten beschickt werden. Inwieweit auch konventionelle landwirtschaftliche Pflanzmaschinen für Steckhölzer geeignet sind, muss noch geklärt werden.

Für die Ernte von Pappeln mit sehr langen Umtriebszeiten steht konventionelle Forsttechnik zur Verfügung. Die in Skandinavien begonnene Entwicklung von Mähbündlern, die Ruten bzw. ganze Bäume sammeln und am Feldrand ablegen, wird derzeit offenbar nicht weiter verfolgt.

Mäh Hacker, also Erntemaschinen, die gleichzeitig fällen und hacken, haben sich bisher am weitesten durchgesetzt. In Deutschland werden zwei leistungsfähige Spezial-Schneiderwerke für Feldhäcksler angeboten, die im Wesentlichen jedoch nur für Weiden und junge Pappeln bis zu 70 mm Schnittdurchmesser geeignet sind und aus wirtschaftlichen Gründen große Flächen erfordern. An der Universität Göttingen und dem ATB Potsdam-Bornim sind Anbauaggregate für Traktoren in Entwicklung, die qualitätsgerechte und lagerfähige Grobhackschnitzel produzieren und auch in Pappelbeständen mit Umtriebszeiten von 3 bis 5 Jahren eingesetzt werden können.

Literatur

ANONYMUS (2002): Growing short rotation coppice. Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA), London, S. 1-31.

BURGER F. (2004): Technologie und Ökonomie des Anbaus und der Ernte von Feldholz. In: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 35, Potsdam, S. 61-74.

BURGER F., SCHOLZ V. (2004): Stand der Technik bei der Ernte von Energiewäldern. Holz-Zentralblatt Nr. 46, S. 610-611.

BURGER F., SOMMER W. (2005): Erntetechnik für Energiewälder. Forst & Technik 4, S. 6-8.

- DANFORS B. (1992):** Salixoldling Maskiner, arbetsmetoder och ekonomi. Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- DANFORS B., LEDIN S., ROSENQVIST H. (1998):** Short-Rotation Willow Coppice – Growers Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.
- DÖHRER K. (1995):** Erntetechnik für Holzfelder. Die Holzzucht, S. 15-17.
- GRUNDMANN P. (2004):** Kostenkalkulation für diverse Energiepflanzen. In: SCHOLZ V., GRUNDMANN P.: Energiepflanzen im Vergleich – Teil II – Energiegewinn und Produktionskosten. energie pflanzen V, S. 13-16.
- HARTMANN H., THUNEKE K. (1997):** Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen. Landtechnik-Bericht Heft 29, Bayer. Landesanstalt für Landtechnik Freising.
- HARTMANN S. (2006):** Kostenkalkulation für Pappeln und Weiden. In: Energiepflanzen – KTBL-Datensammlung für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Hrsg. KTBL Darmstadt und ATB Potsdam.
- HENRIKSSON (2006):** Odlar salix för energi – använd sla, som gödsel. Salix AB.
- LUGER E. (1999):** Harvesting of willow and poplar. In: Harvesting & Processing, European Energy Crops InterNetwork, B10501, S. 1-5.
- RÖHRICHT C., RUSCHER K. (2003):** Anlage eines Feldstreifens in Köllitsch. In: Tagungsband zum Facharbeitskreis Biomasse am 12.06.2003 in Köllitsch, S. 4 ff.
- SCHOLZ V., IDLER C., DARIES W. et al. (2005a):** Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut. Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 39, Potsdam.
- SCHOLZ V., IDLER C., DARIES W., EGERT J. (2005b):** Schimmelpilzentwicklung und Verluste bei der Lagerung von Holzhackschnitzeln. Holz als Roh- und Werkstoff 63, p. 449-455.
- SCHOLZ V., LORBACHER F.R., SPIKERMANN H. (2006):** Pflanz- und Erntetechnik für schnellwachsende Baumarten - Stand der Technik. Studie im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes DENDROM, ATB Potsdam.
- SPINELLI R. (2001):** SRC harvester. Report on the CRL Mk II.
- VETTER A., WERNER A., REINHOLD G. (2002):** Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Energieholz. TLL Jena.
- WIENEKE F. (1993):** Mähhäcksler für Energieplantagen von Pappeln und Weiden. Landtechnik 48 (12), S. 646-647.
- WIPPERMANN J., STAMPFER K. (1995):** Entwicklung von Erntemaschinen für Energieholzflächen; Sonderdruck Jahrgang 121, Holz Zentralblatt, Januar 1995; S. 6-8; S. 274-276
- WOLF H., SCHILDBACH M. (2006):** Erntebericht zur Kurzumtriebsplantage Methau I. Zwischenbericht im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes AGROWOOD, Graupa.

20 Jahre Kurzumtriebsplantagen – Ein Erfahrungsbericht aus Hessen

20 Years of Short Rotation Coppice – an experience report from Hestia

Karl Döhner

(ehem. in) Hessisches Forstamt Diemelstadt, Warburger Weg 26, 34474 Diemelstadt

E-Mail: karldoehner@t-online.de

Kurzfassung

Der Beitrag beschreibt Erfahrungen mit dem Anbau von Kurzumtriebsgehölzen in Hessen. Mit dem Ziel, Erfahrungen auf Flächen in realer Produktionsfeldgröße zu sammeln, geeignete Verfahren für Anlage, Unterhaltung und Ernte zu entwickeln sowie erste Kostenermittlungen vorzunehmen, wurde 1987 mit der Anlage einer 33 ha großen Versuchsfläche begonnen. Neben 14 Pappel- und 3 Weidensorten wurde auf 0,75 ha auch Robinie gepflanzt. Die Anwuchsraten lagen bei 95 %. In lockerem Boden verlief die Bewurzelung deutlich schneller. Zum Schutz gegen konkurrierenden Pflanzenaufwuchs erwies sich die Behandlung der Fläche mit einem Totalherbizid im Herbst mit anschließendem Pflügen als vorteilhaft. Starker Wildverbiss trat bei Weide auf, Pappel wurde vom Rehwild nicht angenommen. Sortenabhängig kam es zu Befall mit Rostpilz (*Melampsora larici-populina*). Pappelblattkäfer (*Melasma populi*) und Weidenblattkäfer (*Phyllodecta vitellinae*) verursachten erhebliche Fraßschäden, jedoch ohne nachhaltige Schäden anzurichten. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen wurde eine Erntemaschine entwickelt.

Schlüsselwörter: Kurzumtriebsgehölze, Pappel, Weide, Robinie, Pflanzung, Pflanzenschutz, Wildverbiss, Erntetechnik

Einleitung

Die *Hessische Forstliche Versuchsanstalt* und das *Institut für Schnellwachsende Baumarten* in Hann. Münden hatten mehrere Jahre lang mit Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb zur Energieholzproduktion Versuche angestellt, die aber sämtlich sehr kleinflächig waren und ausschließlich händisch mit mehr gärtnerischen Verfahren und Geräten bewirtschaftet wurden.

Lage der Versuchsfelder, Zielsetzung

Im Jahr 1986 genehmigte das Land Hessen, auf einer 33 ha großen, nahezu geschlossenen Teilfläche der staatlichen Domäne Georgenhof in Diemelstadt (Nordhessen) einen großflächigen Versuch mit schnellwachsenden Baumarten anzulegen. Das Ziel war, Erfahrungen auf Flächen in realer Produktionsfeldgröße zu sammeln, Bestverfahren für die Anlage, Unterhaltung und Ernte zu entwickeln und erste Kostenermittlungen vorzunehmen.

Die Fläche liegt in 320 m ü. NN in hügeligem Gelände auf mittlerem Buntsandstein. Die Braunerden sind meist anehmige Sande, Teilflächen sind reine Sande, andere stark tonig. Alle Flächen sind mehr oder weniger stark steinig.

Die Jahresniederschläge liegen bei 650 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 7,8°C.

Anlage der Holzfelder

Im Frühjahr 1987 wurde ein erstes Mutterquartier mit 14 Pappel- und 3 Weidenklonen angelegt, die Gesamtfläche (33 ha) wurde bis 1993 bestockt.

Im ersten Jahr wurden die Stecklinge von Hand mit Locheisen in den gepflügten und eingeebneten Boden gebracht. Im gleichen Jahr wurde eine sehr einfache Steckmaschine gebaut, die später auf drei Reihen erweitert wurde. Wegen des hohen Steingehalts und der zum Teil sehr großen Steine scheiden zunächst ins Auge gefasste Maschinen aus dem Gemüsebau aus.



Bild 1: Bewurzelttes Pappelsteckholz

Mit einer dreireihigen Eigenkonstruktion wurden mit vier Personen (einschließlich Treckerfahrer) Tagesleistungen von ca. 14.000 Stück erreicht. Gepflanzt wurden ca. 14.000 Stecklinge / ha, im Verband 1 x 0,7 m. Die Anwuchsraten lagen bei 95 %.

Von den Pappel-Mutterquartieren wurden im ersten Jahr ca. 70.000 Stecklinge pro Hektar, in den Folgejahren ca. 130.000 Stecklinge pro Hektar geerntet.

Die Stecklinge wurden in Kühlkammern zwischengelagert. Es wurde die Erfahrung gemacht, dass eingeschnittene Stecklinge offenbar frostempfindlich sind.

Die Anwuchsraten lagen bei Pappel über 90 %, bei Weide nahe 100 %. Fehlstellen wurden meist durch Stecken "mit dem Kopf nach unten" oder durch zu tiefes Stecken mit anschließendem Zuschlämmen nach schweren Regengüssen verursacht.

Nachbesserungen waren nicht erforderlich. Sie führen auch nicht zum Erfolg, da nachgebesserte Pappeln / Weiden immer die schwächeren Individuen sind und schnell ausgedunkelt werden.

Der späteste erfolgreiche Termin zum Stecken war der 20. Mai.

Es stellte sich sehr schnell heraus, dass eine erfolgreiche Feldanlage ohne vorheriges Pflügen nicht möglich ist, da die Bewurzelung in lockerem Boden offenbar deutlich schneller verläuft. Fehlt die entsprechende Krümelstruktur des Bodens, kommt es zu einem Aufreißen des Pflanzspalts bei lang anhaltender Trockenheit mit Wuchsstagnation oder sogar zu Ausfällen.

Pflege

Schon im ersten Jahr stellte sich die Zurückhaltung der Konkurrenzflora auf der zuvor gepflügten Fläche als äußerst aufwändig heraus. Die Pappel- und insbesondere die Weidentriebe entwickeln sich zwar sehr schnell bis auf ca. 10 cm Länge, verharren dann aber für drei bis vier Wochen (zweite Maihälfte bis ca. 20. Juni) bis die Stecklinge Wurzeln gebildet haben. Während dieser Stagnationsphase entwickelt sich das Unkraut explosionsartig und bedrängt die Pappeln und Weiden massiv. Hacken von Hand, im darauffolgenden Jahr mit einer landwirtschaftlichen Hackmaschine, war außerordentlich teuer und in der Wirkung nicht ausreichend, so dass bereits im zweiten Jahr eine Teilfläche unmittelbar nach dem Abstecken mit einem Voraufmittel gegen Samenunkräuter behandelt wurde. Der Erfolg war durchschlagend, Pappeln und Weiden wurden nicht geschädigt. Verbliebene Wurzelunkräuter (z. B. Quecke) bereiteten allerdings weiterhin Probleme.

Die im dritten Jahr anzulegende Fläche (unbearbeiteter Stoppelacker und Wiese) wurde deshalb bereits im vorhergehenden Herbst mit einem Totalherbizid behandelt und anschließend gepflügt. Der Erfolg war durchschlagend, alle weiteren Flächen wurden deshalb in den Folgejahren nach dieser Methode sehr erfolgreich und kostengünstig behandelt.

Vereinzelte Distelplatten, die sich trotz Herbizideinsatz nicht vermeiden ließen, führten zu deutlichen Wuchseinbußen. Das dadurch verminderte Höhenwachstum wurde in den Folgejahren nicht wieder eingeholt und war in der Regel selbst nach 10 Jahren noch zu sehen.

Das Mutterquartier und Teilflächen des ersten Produktionsfeldes wurden zum Schutz gegen Verbiss durch das zahlreich vorhandene Rehwild eingegattert. Es zeigte sich, dass Pappel vom Rehwild nicht angenommen wird. Lediglich Fegeschäden treten vereinzelt auf.

Ganz anders bei Weide, die sortenabhängig sehr stark abgeknickt und verbissen wurde. Auf großen Teilflächen kam sie nicht über Kniehöhe hinaus.

Wegen der hohen Kosten der Gatterung (sie verdoppelt die Anlagekosten) wurde in den Folgejahren auf eine Gatterung verzichtet.

Eine Teilfläche des ersten Produktionsfeldes wurde nach der ersten Vegetationsperiode mit einem Mulchgerät auf den Stock gesetzt, um eine Kräftigung der Stöcke zu erreichen. Bedenken, dass die zerfransten Stöcke nicht ausreichend wieder austreiben, bestätigten sich nicht. Die Maßnahme stellte sich aber als überflüssig und sinnlos heraus, so dass in den Folgejahren darauf verzichtet wurde.



Bild 2: Pappelstock mit dreijährigen Trieben

Baumarten

Mit Weide waren ca. 6 ha angepflanzt worden. Wegen der Verbissproblematik und wegen der sich abzeichnenden deutlich geringeren Massenleistung der Weiden wird auf den weiteren Anbau der ansonsten völlig unproblematischen Weiden verzichtet.

Neben den Versuchflächen mit 14 Pappel- und 3 Weidensorten wurde auch eine 0,75 ha große Versuchsparzelle mit Robinie angelegt. Die bewurzelten Pflanzen wur-

den im eigenen Pflanzgarten herangezogen und als zweijährige Sämlinge auf eine wie für Stecklinge behandelte Fläche ausgebracht. Eine Hälfte der Fläche wurde gegattert.

Die ungegatterte Fläche wurde innerhalb weniger Tage vom Rehwild vernichtet, die gegatterte Fläche versank im auf die Pflanzung folgenden Frühjahr im Unkraut, da Robinie extrem spät ausschlägt und bis dahin von der Begleitflora vollkommen überwachsen wird.

Schäden und Risiken

Bereits im zweiten Jahr zeigte sich geringer Rostpilzbefall (*Melampsora larici-populina*), der aber zunächst ohne Bedeutung ist (alle Flächen liegen in Waldnähe mit vereinzelt Lärchen). Im Sommer des fünften Jahres wurde die Sorte *Beaupré* sehr stark befallen und starb in den nächsten Monaten vollständig ab. Das gleiche Schicksal ereilte die Sorten *Raspalje* und *Unal* mit jeweils einjährigem Abstand, die Sorte *Rap* drei Jahre später. Andere Sorten wurden insbesondere in feucht-warmen Sommern unterschiedlich stark von *Melampsora* befallen, konnten die Schäden aber wieder auswachsen.

Bis zum sechsten Jahr baute sich eine Population des Pappelblattkäfers (*Melasoma populi*) auf, dessen Larven erhebliche Fraßschäden anrichten, die aber offenbar keine messbaren Verluste an Zuwachs verursachten.



Bild 3: Pappelblattkäfer mit Eiern (*Melasoma populi*)

Jeweils im Frühjahr nach der Ernte wurden die abgeernteten Stöcke bereits vor dem sichtbaren Anschwellen der schlafenden Knospen derart stark befallen, dass die ansonsten unproblematischen Max-Klone keine Triebe bilden konnten. Erst Mitte Juni, nach Abschluss des Reifungsfraßes, entwickelten sich aus dem Kallus an den durch die Erntemaschine verursachten Schnittstellen zahlreiche Sekundärknospen, die sehr schnell in die Höhe wuchsen. Zum Ende der Vegetationsperiode waren die Schäden wieder vollständig ausgewachsen. Nennenswerte Zuwachsverluste schienen nicht eingetreten zu sein.

In den Folgejahren war der Pappel-Blattkäfer unterschiedlich stark vorhanden. Auftretende Massenvermehrungen brachen immer wieder plötzlich zusammen, ohne vorher messbare Schäden angerichtet zu haben.

Ähnliche Erfahrungen wurden mit dem Weidenblattkäfer (*Phyllodecta vitellinae*) gemacht, der in erster Linie die Pappeln befällt. Bei Massenvermehrung perforiert er die Blätter stark, richtet aber keine messbaren Schäden an. Die Gradationen (manchmal waren dunkle Käferwolken über den Feldern zu sehen) brachen in der Regel ganz plötzlich zusammen.



Bild 4: Weidenblattkäfer (*Phyllodecta vitellinae*) - Raupen und adultes Tier

Nach Abschluss des Versuchs im Jahr 1997 wurde die Fläche von einem Papierkonzern zur Pappel-Schleifholzproduktion übernommen und auf 78 ha erweitert. Es wurde sowohl mit Stecklingen als auch mit Setzstangen begründet.

Die Unkrautdynamik wurde unterschätzt mit dem Ergebnis, dass die Stecklingsflächen sehr stark verunkrauteten. Die Flächenerweiterung fiel in Jahre einer Massenvermehrung der Erdmaus (*Mirotus agrestis*). Die verunkrauteten Flächen bildeten einen idealen Mäusebiotop. Es kam zu katastrophalen Schäden, die selbst mit massivem Köderinsatz allenfalls etwas gemindert werden konnten.

Erntetechnik

Im Herbst 1991 wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen (Prof. Dr. Ing. F. Wieneke) erste Überlegungen zum Bau einer Erntemaschine angestellt. Die Entscheidung auf den Bau eines Schraubenhackers als Frontanbaugerät an landwirtschaftliche Schlepper.

Noch im darauffolgenden Winter konnte die Maschine eingesetzt werden und erwies sich als voll funktionstüchtig. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde das Gerät nach Abschluss der Ernte stark verkleinert und die Funktionstüchtigkeit dadurch weiter verbessert.

Auf Grund der einfachen Funktion war vorher klar, dass mit der gewählten Technik keine Exakthackschnitzel hergestellt werden können.

Die Leistung der Maschine ist wesentlich von der Antriebsleistung des Schleppers abhängig. Bei 103 kW Schlepperleistung wurden technische Ernteleistungen von ca. 25 t/h erzielt.

Als nachteilig erwies sich die aus Mäh Hacker, Sammel-Überladewagen und Lkw bestehende Transportkette, die aus den unterschiedlichsten Gründen immer wieder riss.

Versuche der Firma Claas, den für die Weidenernte in Schweden gebauten Vorsatz zum Maishäcksler Jaguar einzusetzen, erwiesen sich nur als bedingt erfolgreich, da die stärkeren Pappelstämmchen sich dem horizontalen Einzug in den Häcksler widersetzen. Sie mussten vorher entfernt werden.

Bei 260 kW Motorleistung wurden technische Ernteleistungen von ca. 50 bis 55 t/h erreicht (Messungen siehe HARTMANN & THUNEKE 1997).

Als untauglich erwiesen sich alle in der Landwirtschaft üblichen Bereifungen auf Schleppern und Anhängern. Die weichen Flanken der üblichen Gürtelreifen wurden regelmäßig durchstoßen, was eine Totalzerstörung des Reifens bedeutet. Die Reifen des vorsorglich mit Forst-Spezialreifen ausgerüsteten Sammel-Überladewagens erlitten keinerlei Schäden.



Bild 5: Einsatz des Mähhackers zur Ernte eines dreijährigen Bestandes

Beendigung des Versuchs

Im Jahr 1997 wurde der Versuch beendet, da die wesentlichen Ziele der Versuchsanlage als erreicht angesehen wurden. Darüber hinaus zeichneten sich keine zufriedenstellenden Absatzmöglichkeiten für die Hackschnitzel ab.

Die Flächen wurden von einem internationalen Papierkonzern mit dem Ziel der Schleifholzproduktion übernommen und von 33 ha auf 78 ha erweitert. Die ursprünglich für die Energieholzproduktion vorgesehenen Bestände wurden z. T. vereinzelt, andere wurden im ursprünglichen Zustand belassen und differenzieren sich zur Zeit durch natürliche Auslese.

Ausfälle weiterer Pappelsorten durch *Melampsora* traten nicht mehr auf, Massenvermehrungen des Pappel- und des Weidenblattkäfers hatte nicht mehr die Ausmaße wie in den ersten Jahren des Versuchs.



Bild 6: Feld mit dreijährigen Pappeln auf sechsjähriger Wurzel

Literatur

HARTMANN H., THUNEKE K. (1997): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen - Maschinenerprobung und Modellbetrachtungen. Landtechnik Bericht, Heft 29, Selbstverlag Landtechnik Weihenstephan (Hrsg.), Freising, 98 S.

Willow production and marketing in Denmark

Produktion und Vertrieb von Weide in Dänemark

Henrik Bach

Ny Vraa Bioenergy I/S, Tylstrup, Gl. Vraavej 31, 9382 Tylstrup, Denmark

E-Mail: henrik@nyvraa.dk

Summary

Energy willow is a unique energy crop. High growth rate and very good environmental characteristics make it an economically attractive crop for the farmer. The report outlines the economic potential of energy willow. Experiences with growing willow in Denmark are presented. Willow cultivation is suitable for seasonal smoothing, allows reduced washout of nutrients and reduction in pesticide consumption and has beneficial effects on the development of hunting grounds, thus, by sales of day hunts offering additional income to farmers.

Key words: Willow, fuel price, plant protection, nutrient washout, hunting

Kurzfassung

Weide ist eine einzigartige Energiepflanze. Eine hohe Wachstumsrate und sehr gute Umwelteigenschaften machen sie zu einer auch ökonomisch interessanten landwirtschaftlichen Kulturpflanze. Der Beitrag umreißt das ökonomische Potenzial von Weide als Energiepflanze und berichtet über Erfahrungen mit dem Anbau in Dänemark. Als vorteilhaft erweist sich, dass der Anbau von Weide eine verringerte Nährstoffauswaschung und reduzierten Aufwand an Pflanzenschutz ermöglicht und zu einem Ausgleich saisonaler Arbeitsbelastungen beiträgt. Darüberhinaus wirken sich Weidenpflanzungen günstig auf die Entwicklung des Wildbestands aus und bieten so über die Option der Jagd zusätzliche Einkommensmöglichkeiten für den Landwirt.

Schlüsselwörter: Weide, Brennstoffpreise, Pflanzenschutz, Nährstoffauswaschung, Jagd

Does energy willow have a future? - Why we re-lay our entire farming area to energy willow and other energy crops

Energy willow is a crop which offers the agricultural sector a wide range of economical and environmental options.

The growing of energy willow as an alternative to traditional agricultural crops is our way of making a profit from agriculture. The falling prices of traditional crops over the past 10 to 15 years continually confirm that we have chosen the right path. During the past 5 years we have re-laid an area the equivalent of 50 – 125 acres each year, and this means that come spring, all 625 acres will be re-laid. The price of wood chips has been fairly stable for many years and is currently rising. To us this is also a clear indication that we have made the right decision.

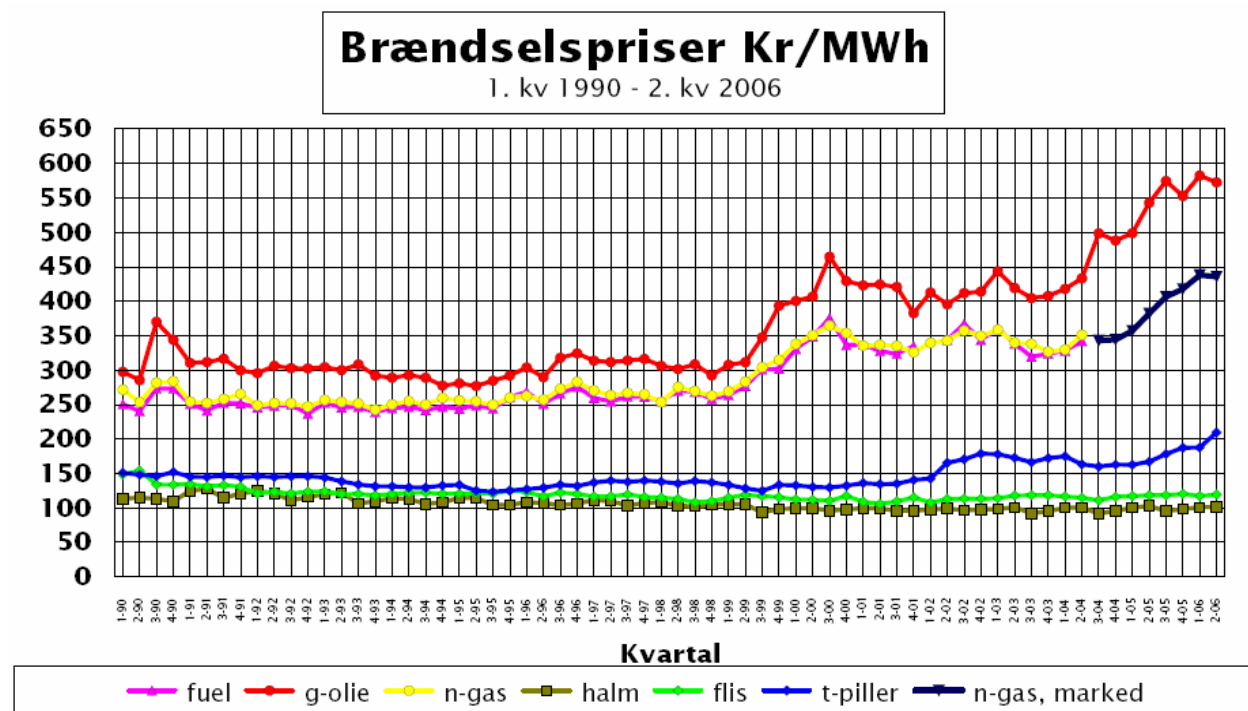


Figure 1: Development in fuels and wood chip prices 1990 – 2006 (exchange rate 05/2007: 100 DKK = 14 EUR)

Bild 1: Entwicklung der Preise für Brennstoffe 1990 – 2006 (Wechselkurs 05/2007: 100 DKK = 14 EUR)

Economics

The economical aspects of energy willow have been thoroughly documented, and the contribution margin is now at a level which makes the crop very attractive in comparison with traditional crops (see **figure 2**).

Price per GJ = 32 DKK	
Energy per tons dry substance = 18.4 GJ	
Yield: 36 ton dry substance every third year = 12 tons per year	
Income per year	6442 DKK per ha
Cost of production	4186 DKK per ha
Net contribution, excl. grants	2256 DKK per ha

Figure 2: Contribution margin for growing energy willow. Danish Agricultural Advisory Service.

Bild 2: Deckungsbeitrag für Energieweide. Danish Agricultural Advisory Service.

Sales

Obviously, growing an entirely new crop also means that we have had to grow an entirely new range of customers for this crop. We took on this challenge by meeting with heating plants and negotiating prices with them. In other connections we have acted as a subcontractor to 'green contractors' who have sold the wood chips as part of a large enterprise or contract. Selling energy willow wood chips has never posed a problem, and if the quality is in accordance with demands, the future also looks bright.

Growing

The growing techniques have been tried and approved over a number of years, and during the past five years great progress has been made in two specific areas. The actual planting process has been improved, which has led to reduced costs, and also harvesting and chipping have been made efficient. One of the major reasons for our success in growing energy willow is the fact that we utilise efficient and up-to-date machinery, and another reason is the way we treat and attend to our fields. Furthermore, we have an extensive international network and a close co-operation with other suppliers of energy willow, and these factors have equipped us to be a competent and qualified supplier of energy willow.



Figure 3: Planting with Egedal Energy Planter

Bild 3: Pflanzung mit der Egedal Pflanzmaschine



Figure 4: Harvesting with Claas Jaguar

Bild 4: Ernte mit CLAAS Jaguar

Reduction of pesticide consumption

When growing energy willow we have a documented treatment index of 0.78, which is well below the political demands, setting the maximum treatment index at 1.7. We make an effort to care for both ground water and ambient water environment, and after the third or fourth year we usually don't use pesticides at all, thus reducing both environmental load and overall costs.



Figure 5: Willow shoot

Bild 5: Weidentrieb

Absorption of nutrient salts

In sensitive rural areas with extensive water recovery interests and in areas close to inlets energy willow is particularly useful in ensuring an increased absorption of nutrition salts, thus in part reducing the washout in these areas. Approximately 8.3 % of all agricultural areas in Denmark are now part of what is known as 'Natura 2000', and these areas are considered particularly sensitive to the effects of e. g. nitrogen. The implications for the neighboring areas are immense, and here the farmers can no longer decide for themselves which crops to grow, since the crops must be capable of absorbing nutrient salts. This makes energy willow an attractive option.

Seasonal smoothing

Energy willow is harvested during the winter season, and this makes it particularly suited for seasonal smoothing. In this way part of the normal field work is moved from summer and fall to winter.

Hunting ground development

An important side effect from the growing of energy willow is the fact that game has excellent conditions. The stock of game has increased for all species, and in particular the partridge, which is highly endangered in traditional and intensive agriculture, has come back in abundance. The sales of day hunts constitute a major source of income to our estate and fully makes up for the investment and effort.



Figure 6: Energy willow fields offer excellent hunting ground conditions

Bild 6: Anlagen mit Energieweide bieten exzellente Bedingungen für die Jagd

Perspectives

Danish agriculture now has a number of very good reasons to leap at this crop which makes the most of both environmental, farming, and energy politics. I normally refer to this as the agriculture's environment card; a card to play in the political debate where agriculture may have image problems. We are dealing with a crop which may create political goodwill due to its positive environmental properties. Furthermore, it is important that we consider the possibilities of becoming self-sufficient with regards to heating in rural areas, and farmers may e.g. provide the local heating plant with wood chips or even build their own heating plant and sell heating to local consumers; the so-called neighbor-heating concept.

Short Rotation Coppice (SRC) Production in Italy

Produktion schnellwachsender Baumarten in Italien

Raffaele Spinelli

Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR/IVALSA Harvesting Research Group

Via Madonna del Piano - Palazzo F, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy

E-Mail: spinelli@ivalsa.cnr.it

Abstract

The establishment of SRC poplar plantations can satisfy the needs of both the farmers and the wood industry, and therefore it has received a strong public support over recent years. Supported by favourable grant schemes, north-Italian farmers have planted over 4000 ha of SRC, mainly in the one- and two-year rotation systems. The development of the sector is facilitated by private corporations, who accompany farmers all along the process – from filling the grant request to harvesting and selling the product. On good fields, yields can reach or exceed 30 gt/ha year and the farmers can sell their product to 15-20 €/gt, facing cropping costs that are only a fraction of those incurred with traditional food crops. Rationally organised, harvesting and transport can be performed within the 25 €/gt cost limit, meeting the 45 €/gt delivered price target. Of course, there is still much room for improvement: newer clones may allow higher yields, whereas adapted cropping system may offer better chip quality. Similarly, the increased efficiency of new harvesting systems may result in a further reduction of harvesting cost.

Keywords: Italy, Poplar, SRC, Harvesting, Economics, Biomass

Kurzfassung

Kurzumtriebsplantagen mit Pappeln sind sowohl für die Landwirtschaft als auch für die Holzindustrie interessant und haben in den letzten Jahren starke Förderung erfahren. Begünstigt durch Förderprogramme haben norditalienische Landwirte mehr als 4000 ha Kurzumtriebsgehölze gepflanzt, überwiegend für den ein- und zweijährigen Erntezyklus. Erleichtert wird die Entwicklung dieses Sektors durch private Unternehmen, die die Landwirte beratend begleiten – vom Ausfüllen des Förderantrags bis zur Ernte und Vermarktung des Produkts. Auf guten Standorten können Ernteerträge von über 30 gt/ha pro Jahr erzielt werden. Die Verkaufspreise liegen bei 15-20 €/gt, wobei die Kosten sich nur auf einen Bruchteil der Kosten üblicher landwirtschaftlicher Kulturen belaufen. Bei guter Organisation können die Kosten für Ernte und Transport unter 25 €/gt liegen. Entwicklungsbedarf besteht im Bereich Pflanzgut, Anbausysteme und Erntetechnik.

Schlüsselwörter: Italien, Pappel, SRC, Kurzumtriebsgehölze, Ernte, Ökonomie, Biomasse

Introduction

The cumulated power of the Italian wood-fuelled collective heating station already amounts to over 200 MW_{th}, while that of electric generation plants reaches 400 MW_{el}. This results in a large demand for wood fuel, which can be estimated to a total of 4 million tons. Satisfying the actual demand for wood fuel ties up most of the available non-treated industrial wood residue. There are still many projects for building many more plants than those currently operating, but any further development of the bioenergy sector depends on our capacity to mobilize the primary land resource, through a more efficient management of existing forests and through the establishment of dedicated wood crops. The latter solution encounters the favour of the agricultural sector, which is looking for new roles, after the recent changes in the CAP. Farmers' Associations and Wood Industries are very powerful – especially in the Po Valley, where industrial large-scale farming is most common. Moreover, the Po Valley is intensively cultivated and lacks natural forests from which wood biomass could be recovered: one has to create the resource, by establishing dedicated wood crops. Such strategy can satisfy both the farmers and the wood industry, and therefore is attracting much attention from the legislators.

Table 1: Subsidies released to SRC in some Italian Regions

Tabelle 1: Fördermittel für SRC in einigen italienischen Regionen

Region	Establishment	Maintenance	Compensation	Max. cycle
	Euro/ha	Euro/ha year	Euro/ha year	years
Lombardy	3,150	620 (first 2 years)	105-725	15
Friuli	4,000	None	None	15
Veneto	4,000	None	None	15
Piemonte	4,000	None	None	15
Emilia	3,840	None	None	15
Tuscany	2,000	None	None	15
Umbria	2,320	None	None	15
Lazio	2,000	None	None	15

The Region Lombardy has been the first one to release grants for the establishment and the management of SRC: after that, several other Regions have followed, but none is offering the same level of subsidies as the Lombardy Region (**table 1**). The result is evident: in less than five years, 4000 ha of SRC crops have been established in Lombardy, representing over three quarters of the total SRC surface established in Italy. At present, most of the plantations are concentrated around Pavia and Cremona, south of Milan. Biomass is delivered to particleboard factories and to power plants alike: in particular, the *Riso Scotti* power plant near Pavia is becoming one of the main customers. The plant was built near a rice processing factory and was designed for using rice husks, as well as wood

chips – the latter used especially in the winter. Compared to a particleboard factory, the *Scotti* plant is less strict on quality, and it can accept fuel with a comparatively low fiber proportion, as that coming from very small trees (THARAKAN *et al.* 2003).

SRC poplar plantations – agronomy and economics

Plantations in Northern Italy are established almost exclusively with poplar: sites are fresh enough, farmers are already familiar with the species and specific clones are available for biomass production. In fact, several nurseries have got into developing new clones, and have obtained a remarkable success. On good sites, new clones can yield up to 16-20 odt/ha year, which is a definite progress over the 13-15 odt/ha year levels reported in the past (KARACIC *et al.* 2003, PELLIC *et al.* 2004). Several crop systems are adopted, all based on coppice management. The differences are in rotation length and – consequently – in planting density.

The very short rotation system is harvested at 1-year intervals and adopts a planting density of about 10,000 cuttings/ha. Cuttings are planted in twin-rows, with a spacing of 1.8 m between twin-rows, 75 cm between the rows forming a pair and 45 cm along the rows (DANFORS *et al.* 1998). Stem size at harvest reaches 2-3 cm (cut level), with peaks of 6-8 cm.

The short rotation system is harvested at 2-3-years intervals: cuttings are planted in single rows, with a spacing of 3 m between the rows and 0.5-0.6 m along the rows. This results in a stool density of 6-7,000 units/ha. Stem size at harvest reaches 10-12 cm at cut level.

The medium rotation system is harvested at 5-6-years intervals. Cuttings are planted in single rows, with a spacing of 3 m between the rows and 2 – 2.5 m along the rows (1,300-1,700 trees/ha). Stem size at harvest can reach 15 cm at breast height .

Table 2 reports the different cost items incurred by farmers when turning to SRC, for the three different systems. The establishment cost varies according to plantation density: the cost of 20 poplar cuttings ranges from 20 to 30 Eurocents per unit, and makes up for a much higher planting material cost in the very short rotation system, where one has to buy over 10,000 units. A lower density also involves a lower planting cost, as fewer cuttings have to be driven into the soil. Maintenance cost generally includes mechanical weeding and fertilization in the year right after plantation and after each harvest: this work is conducted every year on the very short rotation system, every second year in the short rotation system and every fifth year in the very short rotation system (although here the weeding could be repeated also in the second year after harvesting): hence the different annual maintenance cost.

Table 2: Cost of establishing and managing SRC plantations in Italy**Tabelle 2:** Kosten für Anlage und Pflege von Kurzumtriebsgehölzen in Italien

System		very short	short	medium
Rotation		1-year	2-year	5-year
Ploughing	€/ha	250	250	250
Weeding	€/ha	150	150	150
Fertilization	€/ha	250	250	250
Planting	€/ha	700	500	350
Cuttings	€/ha	2640	1540	540
Total establishment	€/ha	3990	2690	1540
Maintenance	€/ha year	400	200	120

The actual cost of growing the biomass depends on a number of factors, which change from case to case and are not very easy to predict. The main cause of uncertainty are a) the actual yield of the crop and b) the number of rotations that the crop can sustain before needing replacement.

Current experience shows it reasonable to expect a **yield of 30-35 green tonnes (gt) per hectare and year**, provided that the soil is good, the choice of the clone is appropriate for the site and the fields receive correct tending - especially weeding. **Table 3** reports some yield data recorded by the National Council for Research (CNR) on over 50 hectares during full-scale commercial trials. For each trial, all the chips harvested were scaled and all the surface measured with a laser rangefinder. The low yields of some fields is explained by poor or absent weeding, by the use of wrong clones or by the harvesting of a first rotation, as fields begin real production in the second rotation – unless they receive a “*cut-back*”, i.e. a cut-to-waste coppicing in the first year after planting aimed at stimulating stool re-growth. The data were collected in 2005 and 2006 on clones planted two to five years earlier with the experience available then: the new plantations established today can profit from the experience gained in this time and from the availability of new planting material, which makes us expect that the average yield of these new plantations may equal the best yield of the old ones.

As to crop duration, no conclusive data is available yet. Most experts consider 8 rotations in their estimates (HELLER *et al.* 2003), but this is an extrapolation since most of the Italian fields are still at their third or fourth rotation – rarely at the fifth one.

A number of economic studies have been conducted to compare the revenue of SRC with that of alternative crops, and results are extremely variable according to the different assumptions of the Authors. Several studies agrees on the figure of 15 €/gt as the payment farmers can accept for their crops, before harvesting: however the Authors of the different studies include different level of public subsidization in their calculations, which gives a measure of the uncertainty of most estimates. Fortunately, with 5000 ha planted we

Table 3: Yields of Italian SRC harvested by CNR in 2005 and 2006**Tabelle 3:** Erträge von SRC in Italien, ermittelt durch CNR in den Jahren 2005 und 2006

Place	Age years	Rotation	Surface ha	Diameter cm	Harvest gt/ha	Yield gt/ha year	Yield odt/ha year
Sforzesca	1	first	9.2	2.05	9.0	9.0	3.6
Bigli	1	second	3.2	2.34	25.5	25.5	10.2
Frascarolo	1	third	8.4	2.13	10.9	10.9	4.4
Alperolo	1	second	0.6	1.89	40.8	40.8	16.3
Calignano	2	first	0.6	4.31	43.1	21.6	8.6
Cura	2	first	2.5	3.91	28.2	14.1	5.6
Albuzzano	1	first	2.7	1.76	7.2	7.2	2.9
Linarolo	1	third	1.2	1.58	27.6	27.6	11.0
Torbole	1	first	2.0	2.23	13.5	13.5	5.4
Travagliato	1	first	4.3	1.71	8.4	8.4	3.4
Pudiano	1	second	3.1	2.29	37.9	37.9	15.2
Carpignano	2	second	1.3	3.37	71.9	36.0	14.4
Eraclea	2	second	1.0	4.64	24.8	12.4	5.0
Caorle	2	second	4.5	4.43	31.4	15.7	6.3
Arre	2	second	1.2	4.20	53.5	26.8	10.7
Conselve	2	second	3.6	3.70	27.8	13.9	5.6
Ottobiano	5	first	0.9	10.70	107.4	21.5	9.7
Ottobiano	5	first	0.7	12.40	154.4	30.9	13.9

already have a market and can refer to market prices, for as volatile as they can be. In 2007, farmers are being offered contracts that recognize a payment of **15-20 €/gt** for their SRC poplar standing in the field. As all farmers are signing these contracts – at times for less than 15 €/gt – and more are planting, the price must be an interesting one, especially when public subsidies are intercepted, which accounts for most cases.

As to the economic system, most is based on the activity of few private corporations, each gathering a large poplar nursery and two-three consulting companies. Typical in this sense is the National Consortium for Renewable Energy (CNER), which connects the Alasia nurseries with four consulting companies each responsible for part of the Country: north-western Italy is covered by Consorzio GBE Ltd, north-central by R-Innov@ Ltd., north-eastern by Biomasse Europa Ltd, centre-south by Atena Ltd. The corporation promotes planting among farmers, and those signing in are accompanied all through the process, since the corporation will assist with the requests for subsidies, will establish the plantation and will buy the harvest at each rotation. The corporation will then organize harvesting and transport through its associated harvesting and transport contractors, and sell the chips to

a plant with which it has signed a supply contract agreement. This model is replicated by other companies, such as Allasia Planting Ltd, and is also being exported abroad, since Italian corporations are already proposing contracts in Austria, the Czech Republic and Hungary.

Harvesting SRC poplar plantations

Fuel chips are a mass commodity, which must bear a relatively low unit price to be competitive. Therefore, the economic margins of the business are somewhat constrained. The upper limit is given by the delivered price paid by power plants, which is in the range of 40-45 €/green ton. As to the lower limit, this is the payment due to the farmer, which accounts for another 15-20 €/green ton.

Harvesting and transport must not exceed the cost limit of 20-25 €/green ton, beyond which SRC becomes no longer profitable. CNR has been exploring SRF harvesting for almost 20 years, following all main technological developments from the old Fröbesta harvester to the newest Claas HS-2. Since 2004, CNR has become a contractor for the Region Lombardy, with the task of analysing SRF harvesting systems and assisting further developments in the Region. The work conducted so far has consisted in a) defining the productivity and the cost of harvesting all three cropping systems, b) evaluating the performance of new prototypes and c) designing new operational lay-outs for the medium rotation crops.

The Claas system is the prevalent method for harvesting very-short rotation and short-rotation SRC. It is based on a modified forage harvester, whose standard header has been replaced with a special SRC header (LARSSON *et al.* 1998). Claas produced two header versions, specifically designed for the Scandinavian market: the HS-1 and the HS-2 headers. In 2004, two Italian contractors purchased two of the newer HS-2 models and mounted them on already available Jaguar Mega foragers. Later on, one of the SRC corporations produced its own SRC header designed for application to Claas foragers and named GBE-1. To date, there are 5 Claas foragers equipped for SRC harvesting in Italy, three with an original Claas HS-2 header and two with the Italian-made GBE-1 header. Each unit harvests app. 300 ha/year, which makes the Claas system the prevalent one in Italy.

The system is based on a forager and 2 to 4 tractor-trailer units, which receive the chips and move them to a collection point: once there, the chips are loaded on transportation vehicles and moved to the plant. CNR studies demonstrate the very high efficiency of the Claas system: net work time represents 80 % of the total worksite time. Maintenance, waiting and rest time account for comparatively small delays. Gross machine productivity ranged from 7 to 44 green tonnes/scheduled machine hour (gt/SMH), with an average value of 25 gt/SMH. Of course, this result is affected by other factors than just forager performance, which is potentially much higher. A model was developed to predict harvesting performance and cost, showing that harvesting cost can be pushed below the

15 Euro/green tonne (2 Euro/GJ) ceiling only if field stocking exceeds 40 or 50 gt/ha when rows are long 300 and 100 m respectively. The study also shows the need to optimize operations. Over a quarter of the total worksite time is occupied by unproductive delays, which may be reduced with improved planning and maintenance.

Top performance is obtained only when several factors concur, and namely: good terrain conditions, adequate machine choice, high crop density and appropriate row spacing. A forager is a heavy machine that cannot traffic wet or sloping soils, and should only be applied to flat and solid terrain. The most powerful version in the tested range seems to have a remarkable edge on the other units, especially when harvesting single-row two-year-old plantations: fitted with the heavier GBE-1 head, the Mega 880 can reach twice the productivity of the other models combined. Of course, such a high productivity is also the result of a different crop structure, as the 880 model operated on fields established according to the new single-row plantation module.

Modified foragers cannot harvest stems that are too big and too close: cut stems have to be placed horizontally to enter the chopper, and if they are too long and too near to each other, they often get entangled with the uncut stems ahead, jamming into the header. This problem does not occur with small stems, which are shorter and more flexible, so that their tops bend and the butts can be fed horizontally to the chopper. Therefore, effective harvesting of large-size stems requires an accordingly large spacing, so that the tops of cut stems can sneak between the standing crop ahead and the stems can be laid horizontal. Similarly, row distance must follow strict rules, because the forager-based harvesting system is quite rigid with respect to crop spacing. Both the Claas and the GBE SRF headers have been built for harvesting twin rows placed 75-80 cm apart: any significant variation in row spacing makes harvesting difficult or even impossible. The distance between twin rows must also be adequate to allow machine traffic, and generally between 2.4 and 2.8 m. These same headers can also harvest single-row plantations, by working slightly offset to the row alignment, but in this case row spacing must be 3 m: typically these plantations are managed on two-year-rotations and produce larger stems.

Tests with small-scale machines have also been performed, but they proved disappointing. In 2005 CNR also tested a feller-director, a feller-chunker and a feller-chipper, whose productivity never exceeded the top value of 7 gt/SMH – for a corresponding harvesting cost of 30 to 50 €/gt. If we add another 10 €/gt for transport, we are definitely outside the economical limits defined above. Of course, our cost calculations do not account for the savings that farmers can obtain by utilizing marginal resources, which can help make these systems viable anyway. Ultimately, a system designed for small-scale operations cannot compete with the industrial mechanization that characterizes European agriculture. Even if a farm tractor equipped with a feller-chunker or a feller-chipper will fetch half the hourly cost of a Claas forager, the cost of the support tractor fleet and that of the drivers remains the same: the result is a marginally lower system cost for a

much lower system productivity, which makes the less mechanized operation a less interesting choice.

Standard forest technology can be adapted to the harvesting of medium rotation SRC. Of course, stem size is small compared to the capacity of standard forest machinery, so that light units should be used whenever possible.

Normally, trees are felled and bunched with a machine and then either chipped in the stand or forwarded to the field edge and chipped there. In the former case, the chipper is moved into the stand and the chips are blown into tractor-and-trailer units for transporting to a collection site, where they are loaded on trucks. In the latter, tree bunches are forwarded to the roadside with a grapple skidder or a front-end loader, and once there, they are chipped with a heavy chipper that directly fills the trucks parked by its side.

In 2005, CNR tested four different harvesting methods, all based on in-stand chipping and differing exclusively for the felling units deployed. These were: 1) a tracked Bobcat front-loader equipped with a Canadian-made high-speed circular saw, 2) a set of shears equipped with grab arms and accumulating claws mounted on a 16-ton wheeled excavator, 3) a dedicated Timberjack 1270 harvester and 4) a Keto 150 harvester head, mounted on a 17 tons tracked excavator. The last two units were also available due to one of the recurrent slumps in forestry operations, and it were used to test the integrated harvesting option – where logs and chips are produced alongside, with the intention of selling the logs to a better buyer or of using them to build fuel storages. In all cases, chipping was performed by a self-propelled chipper, with a 200 kW engine. Trees were fed to the chipper by a self-propelled forestry loader, whose driver also operated the chipper, using a remote control. Chips were thrown into 24 m³ silage trailers towed by farm tractors. Once full, the trailers were taken to the farm centre and unloaded onto the ground, to be later reloaded into large-volume trucks by a front-end loader and transported to a particle-board factory 50 km away.

Total delivered cost varied between 19 and 21 €/green ton, leaving again some profit margins (**figure 1**). At the end, the economic performance of the different options was comparable, without any of them turning out to be much better or much worse than the others.

Of course, machine performance depends on stem size, and it may be useful to predict the variation of harvesting cost with crop development, in order to decide when it is best to harvest. Detailed data collection allowed calculating specific equations that relate machine productivity to stems size, among other factors. These were used to build a simple worksheet, for running specific simulations. The results of one such simulations is in **figure 2**, and returns total delivered cost as a function of tree DBH (diameter at breast height), assuming a transportation distance of 50 km.

There is still much room for improvement, and in the future we may expect better results. In particular, one needs to explore the benefits of roadside chipping and the potential of integrated production – both strategies being capable of further increasing profit margins (SPINELLI & HARTSOUGH 2006).

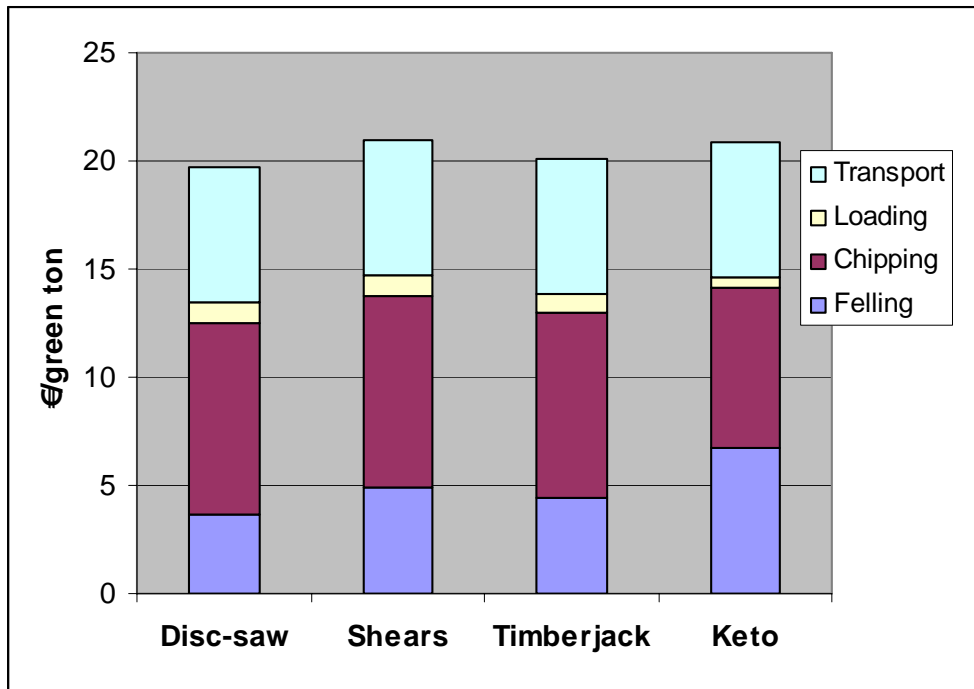


Figure 1: Breakdown of delivered cost for 5-year old SRC

Bild 1: Kostenaufschlüsselung für Bereitstellung 5-jährigen SRC Holzes

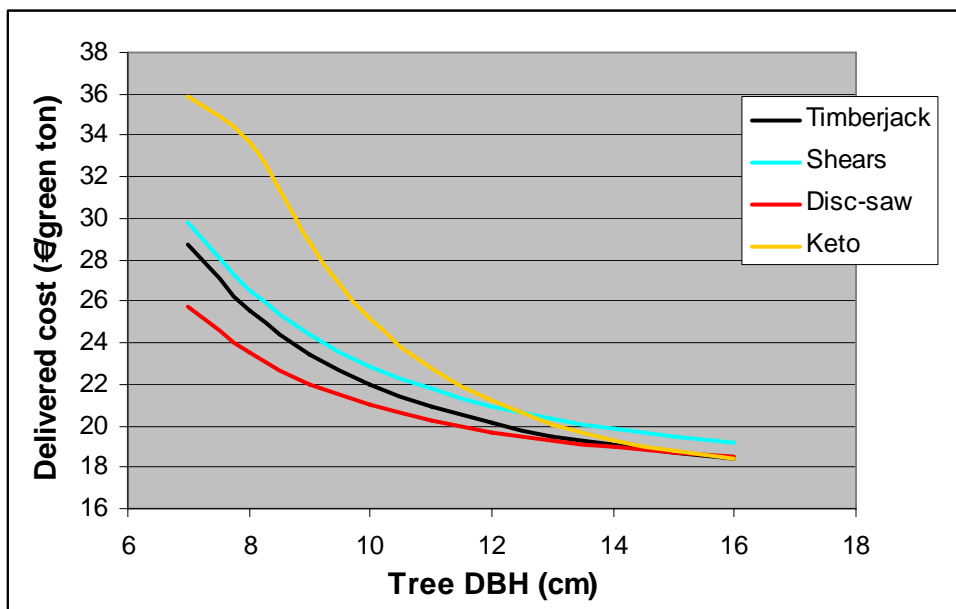


Figure 2: Delivered cost as a function of tree DBH (transportation on 50 km)

Bild 2: Bereitstellungskosten als Funktion des DBH (Transportstrecke von 50 km)

Conclusions

Supported by favourable grant schemes, north-Italian farmers have planted over 4000 ha of SRC, and by now have reached a considerable experience in their management. As for many other crops, the system is based on the massive involvement of private corporations, which accompany farmers all along the process – from filing the grant request to harvesting and selling the product. These corporations are main actors, steering production towards this or that system according to the knowledge acquired during their activity. At present there is a main shift from the very short-rotation system and towards the short rotation system. This is done because thinner two-year plantations are less expensive to establish and produce bigger stems, with a higher percent of fibre. In the past, the move towards two-year rotations had been slowed down by harvesting problems, currently solved by resorting to bigger, sturdier foragers and by adopting an appropriate spacing lay-out. Similarly, there is another trend towards the medium-rotation system: being harvested with highly-mobile forestry equipment, these plantations can be established on (moderately) sloping terrain, which would be difficult to access for standard agricultural machinery. Besides, medium rotations offer the benefits of multi-product management, of increased harvesting flexibility and of a higher biomass concentration at the harvest – which helps reducing the incidence of machine relocation costs.

Acknowledgements: Work conducted within the scope of the EVASFO project, coordinated by Agriteam (Chamber of Commerce of Milan) and co-funded by the Region Lombardy – DG Agriculture, within the scope of the Regional Programme for Research in Agriculture 2004-2006.

References

- DANFORS B., LEDIN S., ROSENQVIST H. (1998):** Short-rotation willow coppice grower manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala, Sweden
- HELLER M., KEOLEIAN G., VOLK T. (2003):** life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, n° 2:147-165
- KARACIC, VERWJIST T., WEIH M. (2003):** Above-ground woody biomass production of short rotation populus plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 18, n° 5:427-437
- LARSSON S., MELIN G., ROSENQVIST H. (1998):** Commercial harvest of willow wood chips in Sweden. Proceedings of international Conference Biomass for Energy and Industry, 8-11 June 1998, Würzburg. Editor: CARMEN, Rimpf, Germany. p 200-203
- PELLIS A., LAUREYSENS I., CEULEMANS R. (2004):** Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar I. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 27, n° 1:9-19
- SPINELLI R., HARTSOUGH B. (2006):** Harvesting SRF poplar for pulpwood: Experience in the Pacific Northwest. *Biomass and Bioenergy* Vol.30 n.5: 439-445
- THARAKAN P., VOLK T., ABRAHAMSON L., WHITE E. (2003):** Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, n° 6: 571-580

**In der Reihe
Bornimer Agrartechnische Berichte**

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998
Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999

Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas TM , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005
Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005
Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> - Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005

Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern	
	Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005
Heft 52	Optimierte Steuerung von Getreide-Schachttrocknern	2005
Heft 53	Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl	2005
Heft 54	Non-Destructive Methods for Detecting Health-Promoting Compounds COST Action 924 Working Group Meeting	2005
Heft 55	4 th IFAC / CIGR Workshop Control Applications in Post - Harvest and Processing Technology (CAPPT 2006) 26th - 29th March 2006, Potsdam, GERMANY	2006
Heft 56	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2006	2006
Heft 57	Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse	2006
Heft 58	Entwicklung eines innovativen Dekontaminationsverfahrens als Technologieantwort auf zukünftiges Qualitätsmanagement im Nacherntebereich	2006
Heft 59	Experimental Studies and Mathematical Modelling of Solar Drying System for Production of High Quality Dried Tomato	2007
Heft 60	13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming	2007
Heft 61	Energiepflanzen im Aufwind Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz	2007

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820
Fax.: (0331) 5699-849
E-Mail: atb@atb-potsdam.de

Schutzgebühr: 13,- €