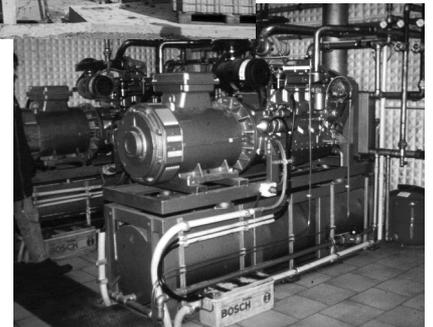




**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Biogas in Bayern



13

2004

ISSN 1611-4159

**Impressum:**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising,  
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>  
Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising, Email: [Landtechnik@LfL.bayern.de](mailto:Landtechnik@LfL.bayern.de)

Redaktion: Dr. Georg Wendl

Titelfotos: Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik

Layout: Jan Harms, Margit Ilg

Druck: Lerchl-Druck, Freising

© LfL

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung des Autors wieder.



in Zusammenarbeit mit dem

**Bayerischen Landesamt für Umweltschutz**

# **Biogas in Bayern**

Tagungsband

zur

Jahrestagung

am 9. Dezember 2004

in Rosenheim



## In Memoriam



**Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Schön**

\* 16.02.1940 † 30.11.2004

Präsident der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft,  
langjähriger Inhaber des Lehrstuhls für Landtechnik der TUM  
und Vorstand der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik



## Autorenverzeichnis

Arab, Hocine, Dr.

Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU München  
Am Coulombwall, 85748 Garching

Aschmann, Volker

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

da Costa Gomez, Claudius, Dr.

Fachverband Biogas e.V.  
Angerbrunnenstr. 12, 85356 Freising

Diepolder, Michael, Dr.

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising

Döhler, Helmut

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft  
Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt

Eder, Joachim, Dr.

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising

Effenberger, Mathias

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Endres, Daniel

Landwirtschaftsamt Traunstein  
Schnepfenluckstr. 10, 83278 Traunstein

Gerlach, Raphaela

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising

Gronauer, Andreas, Dr.

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Hartmann, Stephan, Dr.

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising

Kaiser, Felipe

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Keymer, Ulrich

Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformation  
Infanteriestr. 1, 80797 München

Kissel, Rainer

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Lebuhn, Michael, Dr.

Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU München  
Am Coulombwall, 85748 Garching

Miller, Josef, Staatsminister

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten  
Ludwigstr. 2, 80539 München

Papst, Christine

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
Am Gereuth 4, 85354 Freising

Prestele, Helmar

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe  
Schulgasse 18, 94315 Straubing

Ruiz Lorbacher, Felipe

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft  
Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt

Schlattmann, Markus

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Schwarz, Wolfgang H., Dr.

Lehrstuhl für Mikrobiologie der TU München  
Am Hochanger 4, 85350 Freising

Speckmeier, Manfred

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

Wichern Marc, Dr.

Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU München  
Am Coulombwall, 85748 Garching

Ziehfrend, Gerald

Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik  
Am Staudengarten 3, 85354 Freising

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vom Landwirt zum Energiewirt – Biogas als Zukunftschance für die bayerischen Landwirte .....</b>	<b>9</b>
<i>J. Miller</i>	
<b>Stellung von Biogas im Vergleich der erneuerbaren Energiequellen .....</b>	<b>17</b>
<i>H. Döhler und F. Ruiz Lorbacher</i>	
<b>Entwicklungstrends in der Züchtung von Maissorten für den Einsatz in Biogasanlagen .....</b>	<b>29</b>
<i>J. Eder und Ch. Papst</i>	
<b>Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen .....</b>	<b>43</b>
<i>F. Kaiser, M. Diepolder, J. Eder, S. Hartmann, H. Prestele, R. Gerlach, G. Ziehfrend und A. Gronauer</i>	
<b>Aktueller Stand der Umsetzung des EEG .....</b>	<b>57</b>
<i>da Costa Gomez</i>	
<b>Erfolgreiche Praxisbeispiele aus der Beratung .....</b>	<b>63</b>
<i>D. Endres</i>	
<b>Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen .....</b>	<b>69</b>
<i>U. Keymer</i>	
<b>Perspektiven und Entwicklungstrends für landwirtschaftliche Biogasanlagen in Bayern .....</b>	<b>81</b>
<i>A. Gronauer, V. Aschmann, M. Effenberger, F. Kaiser, R. Kissel, M. Schlattmann, M. Speckmeier, H. Arab, M. Lebuhn, M. Wichern, W.H. Schwarz</i>	



## Vom Landwirt zum Energiewirt – Biogas als Zukunftschance für die Landwirtschaft

Josef Miller, Staatsminister,  
Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München

Gerne bin ich heute nach Rosenheim gekommen, um im Rahmen Ihrer Jahrestagung zum Thema „Biogas in Bayern“ meine Einschätzung zur Erzeugung und zum Einsatz von Biogas, aber auch zur Rolle der Landwirtschaft als Bereitsteller von Energie und Energieträgern zu erläutern.

Zunächst ist mir wichtig, den im Thema verwendeten **Begriff „Energiewirt“ etwas näher zu betrachten**. Ich sage ganz deutlich: Der Landwirt ist Landwirt, weil er das Land bewirtschaftet. Erzeugt der Landwirt vorwiegend Nahrungsmittel, wird er nicht zum Nahrungswirt, auch nicht zum Futterwirt und als Biogaserzeuger auch nicht zum Energiewirt. Kein Mensch käme auf die Idee, einen Forstwirt, wenn er seinen Schwerpunkt auf die Bereitstellung von Brennholz gelegt hat, als Energiewirt zu bezeichnen. **Ich würde es deshalb sehr begrüßen**, wenn man sich darauf verständigen könnte, einen Landwirt, der seinen Schwerpunkt auf Energiedienstleistungen gelegt hat, als **Energielieferant**, meinetwegen auch als **Bioenergielieferant** oder **Energiebereitsteller** zu bezeichnen.

**Ich halte auch nichts davon, Landwirte als die „Ölscheichs von morgen“ zu bezeichnen**, wie dies meine Berliner Kollegin gelegentlich tut. Hier besteht ein **gravierender Unterschied**: Die Ölscheichs von heute räumen systematisch ein erdgeschichtliches Sparkonto ab. Die **Landwirte dagegen als Energielieferanten nutzen das, was ihnen die Photosynthese Jahr für Jahr mit Hilfe ihrer fleißigen Arbeit als Zinsertrag bringt**. Das hat schon eine **andere Qualität!**

### Energiemarkt

Die Lenkung von agrarischen Rohstoffen aus dem Food- in den Non-Food-Energiebereich trifft auf eine **Aufnahmefähigkeit des Marktes in einer völlig neuen Dimension**. Dazu kurz folgende Betrachtung: Der **tägliche Nahrungsenergiebedarf eines Menschen**, ausgedrückt in **Öläquivalent**, beträgt nur etwa **0,3 l**. **Aufsummiert auf ein Jahr sind dies etwa 110 l Öläquivalent**.

Die Energiebedürfnisse außerhalb des Nahrungsbereichs, also für **Heizung, Erzeugung von elektrischem Strom, Mobilität und andere Zwecke summieren** sich hingegen in Deutschland **auf rd. 4 800 l Öläquivalent** pro Person. Die **Energienachfrage** beträgt also gut **das 40fache der Nachfrage nach Nahrungsenergie!**

Unstrittig ist, dass die **Sicherstellung der Nahrungserfordernisse Vorrang** haben muss. Es steht aber nirgendwo geschrieben, dass dies zu Tiefpreisen geschehen muss, wie wir dies viele Jahre erlebt haben und wie dies auch vom Berufsstand immer wieder kritisiert wurde. Hier **wird sich in den nächsten Jahren am Markt eine neue Balance aus Nahrungs- und Energienachfrage bilden**. Wir müssen aber aufpassen: Denn wir wissen, dass eine Waage erheblich pendelt, wenn neue Gewichte zu schnell aufgelegt werden. Es braucht dann Zeit, bis sie ihre „Balance“ wiedergefunden hat.

Die **weitere Entwicklung** wird natürlich **maßgeblich von den Weltmärkten für Energierohstoffe bestimmt**. Hier zeichnet sich ein **deutlicher Bewusstseinswandel** ab. Jahrzehntlang wurde die sogenannte „**statische Reichweite**“ als **Maßzahl für die Vorratsbewertung fossiler Energieträger** herangezogen. Nachdem bei Öl die statische Reichweite **seit 40 Jahren immer rd. 40 Jahre** betrug, machte sich niemand besondere Sorgen.

**Verschwiegen wurde dabei, dass** bei der statischen Reichweite die Fortschreibung der Reserven stets zu Lasten der Ressourcen ging, also jener Anteile, die entweder sicher, aber noch nicht wirtschaftlich gewinnbar sind, oder deren Existenz nur vermutet wird. Das **ändert jedoch nichts an der endlichen Gesamtmenge des global vorhandenen Öls**. So wurde z. B. Kanada durch einen wundersamen Vorgang plötzlich zu einem der größten Reservehüter, weil man aufgrund der hohen Rohölpreise die kanadischen Ölsande von der Abteilung „Ressourcen“ einfach in die Abteilung „Reserven“ gerechnet hat. Die Abteilung „Ressourcen“ wurde jedoch nicht durch Neufunde wieder aufgefüllt.

Als kritischer Zeitpunkt zur Beurteilung der Verfügbarkeit von Öl hat sich der sog. „**Depletion mid point**“ etabliert, die „**Vorratserschöpfung zur Hälfte**“. Depletion mid point heißt also im übertragenen Sinn: „Es ist November und die Hälfte des Brennholzes ist schon weg“. Nach dessen Erreichung ist zwar immer noch für viele Jahrzehnte Öl vorhanden. **Der zu fördernde Massenstrom nimmt jedoch kontinuierlich ab**. Bei weiter steigender Nachfrage wird dieser Zeitpunkt die **Preisentwicklung dramatisch beeinflussen**.

Es ist müßig darüber zu streiten, ob der Depletion mid point schon da ist oder erst 2010, 2020 oder gar 2030, wie die internationale Energieagentur mutmaßt, erreicht wird. Wer sich heute für die Installation einer Heizung entschließt, wird diese etwa 25 Jahre nutzen. Dann haben wir 2030. **Energetechnische Maßnahmen sind immer langfristig ausgelegt** und damit ist die „Knappheit eigentlich jetzt schon da“.

## **Einsatz von Biomasse zur Energieversorgung**

Das ist das **energiewirtschaftliche Umfeld, in dem wir uns bewegen**. Davon ausgehend braucht man nicht sehr visionär sein, um vorherzusagen, dass der

**Aufschwung der land- und forstwirtschaftlichen Biomasse als Energieträger noch erheblich zunehmen wird.** Im Gegensatz zu den regenerativen Energiequellen, wie z. B. Windkraft, Solarthermie und Photovoltaik, bietet die **land- und forstwirtschaftliche Biomasse ein kalkulierbares und speicherfähiges Angebot**, das zum gewünschten Zeitpunkt mobilisiert werden kann. Auch aus diesem Grund finden Land- und Forstwirtschaft bei großen Energieversorgern **als Energielieferanten** immer mehr Aufmerksamkeit und Interesse.

Ein weiterer Gesichtspunkt, warum ich einen verstärkten Einstieg der Landwirtschaft in die Bereitstellung von Energie für wichtig halte, ist der **Klimaschutz**. Die derzeitige jährliche weltweite Nutzung fossiler Energieträger verwandelt die erdgeschichtliche Energiespeicherleistung von mindestens 500 000 Jahren in Kohlendioxid, Wasserdampf sowie erhebliche Mengen ungenutzter Abwärme. Die **Nutzung von Bioenergieträgern findet dagegen in einem kurzzeitigen Kohlendioxidkreislauf statt**. Werden Sie verbrannt, gleichgültig ob im Heizkessel oder im Motor, wird nur das Kohlendioxid freigesetzt, das vorher durch die Photosynthese beim Aufwuchs der Energiepflanzen gebunden wurde. Ein zusätzlicher, den Treibhauseffekt beschleunigender Kohlendioxideintrag in die Atmosphäre findet nicht statt.

Zu dieser „Kohlendioxid-Kreislaufwirtschaft“ gesellt sich der Aspekt der **heimischen Wertschöpfung**. Geld, das für heimische Energieträger ausgegeben wird, kommt der heimischen Wirtschaft und damit auch heimischen Arbeitsplätzen zu Gute. Gerade der **Biogasanlagenbau ist ein neuer und bedeutender Wirtschaftszweig geworden**. Ich appelliere in diesem Zusammenhang aber an die Anlagenhersteller, angesichts des derzeitigen Booms die Preisforderungen nicht zu überziehen. Die Schaffung von mehr Transparenz und ein guter Überblick über die Qualität der angebotenen Anlagenkonzepte ist mir ein wichtiges Anliegen.

**Energie** ist in der jeweiligen Form, wie wir sie benötigen, **ein knappes Gut**. Dies birgt die **zwingende Notwendigkeit** in sich, die Energieträger **entsprechend ihrer optimalen Einsatzeignung mit möglichst wenigen Konversionsschritten einzusetzen**. Sich multiplizierende Wirkungsgradverluste in aufwendigen Prozessketten können wir uns nicht leisten. Die **Konsequenz** lautet: **Flüssige Bioenergieträger vor allem im Mobilitätsbereich einsetzen, feste Bioenergieträger**, bei denen Holz zweifellos die wichtigste Rolle spielt, **vor allem im Wärmebereich**.

Unter diesem Blickwinkel sind auch Bestrebungen, aus Holz über das sog. **BTL-Verfahren** (Biomass To Liquid) nach einer thermochemischen Vergasung flüssige Kraftstoffe zu gewinnen, mit großer Zurückhaltung zu sehen. In der derzeitigen Energieverbrauchsstruktur Deutschlands **macht es keinen Sinn**, 6 kg Holz zur Gewinnung von 1 kg Kraftstoff einzusetzen, wenn der gleiche Effekt auch mit gut 2 kg erreicht werden kann! Dieses **Holz muss nur einfach verbrannt werden**, was heute mit 90 % Wirkungsgrad geschieht, dann **setzt es die äquivalente**

**Menge an Dieselkraftstoff in Form von nicht benötigtem Heizöl frei.** Heizölverbrauch und Dieselkraftstoffverbrauch halten sich in Deutschland mit je 28 Mio. t pro Jahr die Waage. Wer nun aus Holz Kraftstoffe machen will, also „mit Holz fahren will“ und daneben weiterhin fleißig Heizöl verbrennt, hat die Energieeffizienz aus den Augen verloren.

Ich halte die verfahrenstechnische Weiterentwicklung dieser Technologie jedoch dann für sinnvoll und erforderlich, wenn damit **Biomassen, die verbrennungstechnisch schwieriger zu handhaben sind**, wie z. B. Getreidestroh, **als Rohstoffquelle zur Kraftstofferzeugung dienen können**. Holz hat jedoch so hervorragende Brennstoffeigenschaften, dass sein optimaler Einsatz nach der stofflichen Verwendung in der Wärmeanwendung liegt.

## **Biogasnutzung in Bayern**

Die Zahl der Biogasanlagen in Bayern hat sich bereits in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. Heute gibt es bei uns **rund 650 landwirtschaftliche Biogasanlagen** – das ist **ein Drittel der Anlagen in Deutschland!**

Die Novelle des **Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)** hat aber in diesem Jahr geradezu einen Nachfrageboom **nach Biogasanlagen ausgelöst**. Der Grund liegt vor allem darin, dass es dem Landwirt als Energielieferant eine **klare wirtschaftliche Kalkulationsbasis für 20 Jahre bietet**.

Wir haben Mitte des Jahres, auch als Reaktion auf das EEG, die **Förderung landwirtschaftlicher Biogasanlagen** in Bayern **neu ausgerichtet**. Wir wollen den Landwirten einen zusätzlichen Anreiz bieten, in die Nutzung dieser alternativen Energiequelle einzusteigen. Bei Neuanträgen gibt es künftig für den Bau von Biogas-Anlagen im Rahmen des Agrarzuschussprogramms (AZP) einen **Zuschuss von bis zu 20.000 €**. Die im Vergleich zum bislang geltenden Agrarinvestitionsförderprogramm (AFP) **einfacheren Bestimmungen** beschleunigen die Abwicklung der Förderanträge.

Wir erleben derzeit eine starke Nachfrage bei dieser Förderung. Eine aktuelle Umfrage bei den Ämtern für Landwirtschaft hat ergeben: Insgesamt sind **778 Fälle in Bearbeitung**. **Bereits bewilligt** wurden **109 Anlagen**.

Das EEG hat aber auch dazu geführt, dass die **Erzeugung von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen wirtschaftlicher sein kann als die klassischen Produktionsrichtungen zur Erzeugung von Milch und Rindfleisch**. Das haben Berechnungen der Landesanstalt für Landwirtschaft ergeben. Das wird, auch im Zusammenhang mit der Entkoppelung der EU-Zahlungen ab nächstem Jahr, Einfluss auf so manche betriebliche Entscheidung haben.

Der **verstärkte Einstieg der Landwirtschaft in die Lieferung von Bioenergie**, den ich – wie bereits aufgezeigt – sowohl aus energiepolitischen, aus Gründen

des Klimaschutzes als auch gesamtwirtschaftlichen Überlegungen für unverzichtbar halte, **wird zu spürbaren Auswirkungen führen**. Land- und Ernährungswirtschaft müssen sich darauf einstellen, dass **Food-Potenziale in den Non-Food-Energiebereich übergehen werden**.

Ich plädiere hier aber **keineswegs für eine Trennung von Tierhaltung und Biogaserzeugung**. Der Energieinhalt einer bestimmten Futtermenge ist zwar nur einmal enthalten. In jedem Fall ist aber **Gülle aus der Tierhaltung ein Koppelprodukt ohne Kostenbelastung** und ein **stabilisierendes Substrat für den Gärprozess**.

Die Signale sind **am Pachtmarkt bereits spürbar**. Wir werden die Auswirkungen, allerdings mit zeitlicher Verzögerung, auch **am Rohstoffmarkt im Food-Bereich feststellen**. Dies bedeutet aber auch, dass sich dort die Preise mit ebenfalls zeitlicher Verzögerung festigen werden und damit **für die Landwirte insgesamt wieder positive Einkommensperspektiven entstehen!**

**Biogasnutzung** ist nichts anderes als die **biologische Nutzung der Solarenergie**. Durch das System der Futterspeicherung mit Silage und die entsprechende Zudosierung in die Biogasanlage kann jedoch **das tageszeitlich und saisonal schwankende solare Strahlungsangebot verstetigt** werden.

Über Dosiersteuerung und Gaszwischenlagerung kann auch auf tageszeitliche und in begrenztem Umfang auch auf saisonale **Bedarfsspitzen** reagiert werden. Eine verbesserte Prozess- und Regeltechnik in Verbindung mit optimierter Mikrobiologie dürfte dazu noch beträchtliche Reserven bieten. Wenn Sie zum Vergleich die technischen Begrenzungen der Energiespeicherung und die Kosten bei der Photovoltaik betrachten, **dann schneidet die Biogasnutzung über die Photosynthese**, die ich jetzt einmal als PS abkürze, **sehr gut ab**. PS wird gemeinhin mit Kraft assoziiert – und das ist bei Biogasanlagen uneingeschränkt der Fall.

Ein weiterer sehr positiver Aspekt der Biogasnutzung ist der sog. **Nährstoffkreislauf**. Das System der Biogasnutzung aus Energiepflanzen bietet die Möglichkeit, durch die Methangärung nur den photosynthetischen Energieertrag einer Fläche zu entziehen. Methan und Kohlendioxid, das jedoch in diesem Fall aus regenerativen und nicht fossilen Quellen stammt, sind die Hauptkomponenten des Biogases. Der Nährstoffentzug aus der Aufwuchsfläche verbleibt weitgehend im Gärrest. Wird dieser auf die Aufwuchsflächen zurückgebracht, ist auch der **Nährstoffkreislauf weitgehend geschlossen**.

**Biogas** wird gegenwärtig **zu 100 % in der Stromerzeugung** eingesetzt. Dies geschieht häufig mit den gleichen Problemen, die jedes thermische Großkraftwerk auch hat: Der Überschuss an Prozesswärme muss weggekühlt werden. **Höhere Wirkungsgrade könnten erreicht werden, wenn Biogas bedarfsgerecht auch der Wärmeversorgung zugeführt werden könnte**. Ein Weg dazu wäre die Aufbereitung und Einspeisung in das **öffentliche Gasnetz**.

Die Möglichkeiten und notwendigen Bedingungen hierzu werden bereits in einer umfassenden **Studie der deutschen Gaswirtschaft, die von meinem Haus und dem Wirtschaftsministerium mit initiiert und unterstützt wird, untersucht**. Wir analysieren gegenwärtig auch mit konkretem Bezug auf Bayern und bayerische Standorte entsprechende Modelle.

Es darf auch nicht übersehen werden, dass in der Nähe größerer Siedlungen größere **Gas-Blockheizkraftwerke**, übrigens mit gar nicht so schlechtem elektrischem Wirkungsgrad, betrieben werden. Industrielle Gas-Otto-Motoren im Leistungsbereich um 1 Megawatt – hier geht es um ungefähr 20 Zylinder und 50 l Hubraum – erreichen **elektrische Wirkungsgrade um 40 %**. Wenn die **anfallende Motorabwärme** noch dazu verwendet werden kann, eine thermische Jahresdauergrundlast zu befriedigen, dann hat eine Großbiogasanlage **hervorragende Einsatzbedingungen**. Der Gastransport ist zudem einfacher als der Wärmetransport im Verteilnetz, sodass auch eine gewisse räumliche Distanz überwunden werden kann.

Solche Großbiogasanlagen **erfordern natürlich einen beträchtlichen Biomasse-Input**. **400 bis 500 ha Energiepflanzen kommen da schnell zusammen**. Es stellt sich auch die Frage, **wer solche Anlagen betreibt**. Die **Landwirte als ausschließliche „Biomasseablieferer“ sind nicht meine Zielvorstellung**.

Interessante Ansätze gibt es hierzu in Österreich. Eine Betreibergesellschaft bietet dort Landwirten **unterschiedliche Beteiligungsintensitätsstufen** an. Im einfachsten Fall muss der Landwirt nicht einmal mehr abliefern, sondern nur ein erntereifes Silomaisfeld übergeben und den anteiligen Gärrest auf eigenen Flächen verwerten. Intensivere Beteiligungsstufen sehen die Kofinanzierung von Biogasanlagen, die Mitarbeit an Biogasanlagen oder auch die Grundstücksverpachtung für Anlagen vor.

Biogasanlagen dieser Größenordnung verlangen aber auch **angepasste Pflanzenbausysteme**. Mono-Maiskulturen im Umfeld solcher Anlagen wären weder aus Umweltverträglichkeitsgründen noch aus Imageaspekten vertretbar. Hier sind die **Pflanzenbauwissenschaften gefordert**, sowohl durch **sortenzüchterische Bearbeitung** als auch durch **geeignete Fruchtfolgesysteme** eine insgesamt umweltverträgliche Biomasseproduktion mit Gärrestverwertung im System der Kreislaufwirtschaft sicher zu stellen. Die Erzeugung von Bioenergie muss den **Nachhaltigkeitserfordernissen** und den **Grundsätzen guter landwirtschaftlicher Praxis gerecht werden**.

Eine besondere Herausforderung stellen die **Grünlandstandorte** dar. Die dort aufwachsende Biomasse ist zur Methanvergärung weniger geeignet als z. B. Silomais. Mir ist es aber ein besonderes Anliegen, durch Rückgang der Tierhaltung freiwerdende Grünlandflächen als solche zu erhalten. Ich werde deshalb die

## **Untersuchungen und Forschungsarbeiten zur energetischen Nutzung von Grünlandaufwuchs intensivieren.**

Dies ist ein Teil unseres **Aktionsprogramms „Biogas in Bayern“**, mit dem wir die Führungsrolle Bayerns in der Biogasnutzung technologisch und ökonomisch festigen wollen. Ich setze dabei auf **vier Schwerpunkte**:

### **1. Forschung:**

Dazu werde ich den Einsatz der uns verfügbaren **Forschungsmittel auf den Bereich Biogas konzentrieren** und damit die Inputmaterialien, die Technik, die Verfahren und die Outputmaterialien Biogas und Gärreste weiter optimieren.

### **2. Beratung:**

Wir werden unsere **Berater vor Ort bestmöglich unterstützen**, damit Sie die enorme Nachfrage bei den unterschiedlichen betrieblichen Verhältnissen auch sachgerecht bedienen können. Unsere Landtechnik-Fachberater konzentrieren sich derzeit weitgehend auf Biogasberatung.

### **3. Ausbildung:**

Mit dem **Bildungsgang „Fachagrarwirt erneuerbare Energien – Biomasse“**, den wir ab 2005 in Triesdorf anbieten, wollen wir Spezialisten heranbilden, die das komplexe Fachwissen in diesem Bereich beherrschen und bei den Anlagenherstellern, in der Beratung und in der Praxis eingesetzt werden können.

### **4. Pilotbetriebe:**

Wir werden versuchen, Pilotbetriebe für beispielhafte Praxislösungen zu gewinnen, an denen sich investitionswillige Landwirte orientieren können.

## **Schluss**

Bietet also die Erzeugung von Biogas eine Zukunftschance für die Landwirtschaft? Ich beantworte diese Frage **mit einem klaren Ja!**

Ich sehe **hervorragende Perspektiven für Biogas im künftigen Energiemix**. Aber auch andere biogene Energieträger werden, entsprechend ihrer optimalen Einsatzeignung, ihren Platz haben und vielleicht neue hinzukommen. **Land- und Forstwirtschaft werden im künftigen Energiemix eine immer wichtigere Rolle spielen.**

Zeithorizonte sind in der Energiewirtschaft immer lang. Die Mixanteile verändern sich langsam, aber sie ändern sich. **Ein Grundsatz wird sich aber nicht verändern: Energieträger – gleich welcher Art – müssen dort eingesetzt werden, wo sie ihre besonderen Vorzüge zur Geltung bringen können.** Damit werden wir noch sehr lange mit Öl, gleichgültig ob mineralischen oder biogenen Ursprungs, fahren und mit Holz heizen – und nicht umgekehrt!

Auch **Biogas hat in der Mobilität gute Chancen**. Sollte ihm der Zutritt ins Erdgasnetz gelingen, stehen ihm alle Erdgasanwendungen, auch die Nutzung in Erdgasfahrzeugen, offen.

Land- und Forstwirtschaft stehen heute an der Schwelle, die Tür zum Energiemarkt steht offen! Das ist positiv. Dies **wird aber auch Markt- und Erzeugungsstrukturen im Food-Bereich nachhaltig beeinflussen**. Auf diese Veränderungen müssen wir uns einstellen und die damit verbundenen Herausforderungen bewältigen. Die Erfahrungen aus der Agrargeschichte lehren uns aber: **Knappheit ist besser organisierbar als Überfluss!**

Ich wünsche der **Jahrestagung Biogas einen guten Verlauf, viele wertvolle Informationen und allen Teilnehmern das Empfinden**: Wir gehen in eine Zeit, in der die **Erzeugnisse der Land- und Forstwirtschaft noch mehr als bisher gefragt sein werden!**

# **Stellung von Biogas im Vergleich der erneuerbaren Energiequellen**

Helmut Döhler und Ruiz Lorbacher Felipe,  
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt

## **1 Einleitung**

Der Landwirt als Energiewirt - mit diesem Schlagwort werben Agrar- und Umweltpolitiker, Bauernverband und Umweltverbände, wenn angesichts sinkender Erlöse und Gewinne in den landwirtschaftlichen Unternehmen Einkommensalternativen diskutiert werden. Tatsächlich haben sich die rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in den letzten Jahren zu Gunsten der regenerativen Energieträger verändert:

Mit dem Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) am 01.04.2000, und dessen Novellierung im Dezember 2003 und im August 2004 wurden entscheidende Schritte zur Erzeugung von regenerativem Strom getan.

Die Biomasse-Verordnung vom 28.06.2001 schafft die Voraussetzungen für die klimaschonende Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen, Wirtschaftsdüngern und Abfällen.

Des Weiteren ist am 01.01.2004 in Deutschland die Änderung des Mineralölsteuergesetzes in Kraft getreten. Damit ist die steuerfreie Beimischung von Kraftstoffkomponenten aus Biomasse zum herkömmlichen Kraftstoff möglich. Vorher waren nur reine Biokraftstoffe von der Mineralölsteuer ausgenommen, eine Regelung, von der vor allem Biodiesel in den letzten Jahren profitiert hat. Nun ist es möglich, neben Biodiesel auch reine Pflanzenöle, Bioethanol, Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE), oder synthetische Kraftstoffe aus Biomassebasis steuerbegünstigt einzusetzen. Ein Vorteil, den die Mineralölindustrie heute schon massiv zur Senkung ihrer Kosten und zur Steigerung ihrer Gewinne nutzt. Auch die Marktmechanismen greifen bereits, denn die Nachfrage in Deutschland ist durch Importe von Biodiesel und Bioethanol leicht zu befriedigen, die inländischen Erzeuger unterliegen auch hier zukünftig einem hohen Preisdruck.

Durch die nationalen und internationalen politisch-gesetzgeberischen Maßnahmen nehmen die Anteile der Erneuerbaren Energien (EE) am Gesamtenergieverbrauch stetig zu, die Wachstumsraten sind auch im Biogassektor erheblich. Da Biogas nicht nur zur Stromerzeugung, sondern auch zur Wärme- und Kraftstoffproduktion eingesetzt werden kann, ist das theoretische Potenzial zum Ausbau der Biogastechnik im landwirtschaftlichen Bereich beträchtlich. Welche tatsächlich bestehen, und ob einzelbetriebliche, volkswirtschaftliche und ökologische, und

andere Kriterien der Biogaserzeugung miteinander zu vereinbaren sind, wird im folgenden Beitrag erörtert.

## 2 Erneuerbare Energien in Deutschland

In der Tabelle 1 ist die Energieerzeugung in Form von Wärme und Strom durch EE dargestellt. Bei Strom hat der Anteil der EE 8 % des Endenergieverbrauchs erreicht, während bei Wärme 4,1, bei Kraftstoffen nur 0,9 % realisiert wurden. Durch die im Kapitel 1 genannten Gesetze ist für 2004 mit erheblichen Zuwachsraten zu rechnen, die stärksten Zuwachsraten wird der Kraftstoffverbrauch erreichen.

Tab. 1: Anteil der Erneuerbaren Energien (EE) am Endenergieverbrauch in Deutschland

	2000	2001	2002	2003
<b>Stromerzeugung</b> (bezogen auf die gesamte Bruttostromerzeugung)	6,7	6,7	7,95	7,9
<b>Wärmebereitstellung</b> (bezogen auf die gesamte Wärmebereitstellung)	3,9	3,8	4,0	4,1
<b>Kraftstoffverbrauch</b> (bezogen auf den gesamten Kraftstoffverbrauch)	0,3	0,5	0,8	0,9

Etwa die Hälfte der gesamten Endenergie aus EE wird durch Biomasse bereitgestellt, hauptsächlich handelt es sich dabei um Holz (93 %). Der für die Stromerzeugung wichtigste regenerative Energieträger ist nach wie vor die Wasserkraft (44 %), bei den hohen Zuwachsraten der Windkraft (40 %) wird diese mittelfristig die Spitzenstellung einnehmen. Die biogenen Festbrennstoffe nehmen diese Rolle beim Wärmeverbrauch ein, allein 85 % der regenerativen Wärme fallen auf diesen Energieträger. Der Anteil der Biomasse an der Stromerzeugung macht insgesamt weniger als ein Prozent des gesamten Verbrauchs aus, das Biogas selbst trägt hierzu mit nur 0,2 % bei. Mit Deponiegas – zwar in der Produktion abnehmend – wird immer noch mehr Strom erzeugt als mit Biogas (Tabelle 2).

Tab. 2: Beitrag der erneuerbaren Energien (EE) am Endenergieverbrauch für Strom und Wärme in Deutschland im Jahr 2003

	Wärme		Strom	
	GWh	in % v. total	GWh	in % v. total
Wasserkraft			20.350	3,5
Windkraft			18.500	3,1
Fotovoltaik			323	0,1
<b>Biogas</b>			<b>1.100</b>	<b>0,2</b>
Klärgas			770	0,1
Deponiegas			1.500	0,3
Biogene Festbrennstoffe	52.264	3,5	1.700	0,3
Biogene gasförmige Brennstoffe	1.500	0,1		
Biogene flüssige Brennstoffe	220	0,001	70	0,01
Solarthermie	2.494	0,2		
Geothermie	1.562	0,11		
Biogener Abfall	2.817	0,2	1.945	0,3
<b>Summe</b>	<b>60.827</b>	<b>4,1</b>	<b>46.258</b>	<b>7,9</b>

### 3 Möglichkeiten zum Ausbau der landwirtschaftlichen Biomasseerzeugung und -nutzung

#### 3.1 Flächennutzung im Wandel

Das Wachstum der Bevölkerung, die erhöhte Mobilität, die Ausdehnung von wohnungsbaulichen, gewerblichen und verkehrsbedingten Erschließungen sowie die intensive Nutzung der ländlichen Räume für Freizeit und Erholung haben dazu geführt, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche weltweit zum knappsten Faktor geworden ist. Sinnvolle Möglichkeiten zur Erschließung von Ackerland sind weitestgehend erschöpft und die Ernährungssicherung des anhaltenden Bevölkerungszuwachses muss nahezu ausschließlich über die Intensivierung realisiert werden.

Einhergehend mit einer stagnierenden Bevölkerungsentwicklung in den mitteleuropäischen Ländern haben die Nutzungsansprüche der Bevölkerung zu einer starken Verknappung der verfügbaren Fläche geführt. Die EU-15 hat eine Bevölkerungsdichte von 2,7 Einwohner/ha LF (Deutschland 4,8). Durch eine Intensivierung der Landwirtschaft wurde die Ernährungssicherung bewerkstelligt.

EU-weit führt dies seit Jahren zu einer Überschussproduktion an Nahrungsgütern, die mit Hilfe von Exportsubventionen auf dem Weltmarkt abgesetzt werden müssen. Derzeit kommen als Flächennutzungsalternativen in Betracht:

- Flächenstilllegung,
- Extensivierung der Landwirtschaft,
- Bereitstellung von Flächen für ökologische und landeskulturelle Zwecke,
- Erzeugung erneuerbarer Energieträger und Industrierohstoffe.

Das knappe Gut landwirtschaftliche Nutzfläche erfordert eine einerseits effiziente, aber nachweisbar umweltverträgliche Nutzung, den Schutz der Bodenfruchtbarkeit und wirksamere Maßnahmen zur Begrenzung des Landverbrauchs. Wenn Nachhaltigkeit als Richtschnur wirtschaftlichen und politischen Handelns gilt, sind die Marktentlastungsstrategien bzw. Flächennutzungsalternativen zu wählen, die den Wertschöpfungsprozess nicht begrenzen, sondern die Überschussproduktion in ökologische, sozial- und klimaverträgliche Felder umlenken (BREITSCHUH ET AL. 2004, in: KTBL 2004).

Hinzu kommen wachsende Anforderungen zur Erzeugung von erneuerbaren Energie- und Industrierohstoffen, um die absehbare Erschöpfung der Rohstoffressourcen und zunehmende Klimaprobleme zu kompensieren (Weißbuch der EU). Innerhalb dieser Nutzungskonkurrenzen hat die Nahrungsmittelerzeugung uneingeschränkte Priorität und in Ländern mit hohem Bevölkerungszuwachs wird die Ernährungssicherung künftig keine anderen Nutzungen zulassen. Für mitteleuropäische Länder mit stagnierender Bevölkerungsentwicklung, aber hohem Energie- und Rohstoffverbrauch erwächst daraus die Pflicht, vorhandene Flächenreserven zur Ressourcenschonung und CO<sub>2</sub>-Vermeidung einzusetzen.

### **3.2 Theoretisches Potenzial**

Ausgehend von den zur Verfügung stehenden vergärbaren Stoffen, Wirtschaftsdünger, Abfällen, Reststoffen im Pflanzenbau ist theoretisch eine Gasmenge von 22 bis 25 Mrd. m<sup>3</sup> möglich. Bezogen auf den Endenergieverbrauch sind dies etwa 4 bis 5 % des Verbrauchs an Naturgasen (Erdgas), und einer installierten Leistung von 5,3 bis 9,8 GW. Bei der derzeit installierten Leistung von etwa 200 MW entspräche dies einer 25- bis 50-fachen Zunahme. Ausgehend vom derzeitigen Stand der Biogasanlagentypen projiziert wären das etwa 100.000 Biogasanlagen. Um dieses Potenzial zu erreichen, müssten jedoch 2 Mio. ha LN alleine für die Biomassegewinnung zur Vergärung zur Verfügung stehen.

### **3.3 Technisches Potenzial**

Tatsächlich stehen mittelfristig eher geringere Flächen zur Verfügung. Bei unseren Ernährungsgewohnheiten mit einem hohen Anteil an Nahrungsmitteln tierischer Herkunft (70 % unserer Getreideernte gehen in die Tierernährung) ist ein Flächenbedarf von etwa 0,2 ha pro Einwohner anzunehmen. Bei gegebener Einwohnerzahl verbleiben für den Non-Food-Bereich etwas mehr als 500.000 ha Anbaufläche. Bei einem Pro-Kopf-Bedarf von 0,18 ha wären es 1,7 Mio. ha (Tabelle 3).

Diese Fläche konkurriert mit dem Anbau von Pflanzen zur stofflichen (Dämmmaterial, Kunststoffersatz) sowie der Erzeugung von Rohstoffen zur Kraftstoff- und zur Wärmegewinnung. Diesen Nutzungsrichtungen anteilig zugeordnet ergibt dies

ein Potenzial von 130.000 bis maximal 400.000 ha, dementsprechend wäre eher von 10.000 Biogasanlagen in Deutschland auszugehen.

Seit zwei Jahrzehnten werden in Deutschland der Anbau und die energetische Verwertung spezieller Energiepflanzen geprüft. Erwartet wird, dass sich verschiedene Pflanzenarten in besonderer Weise als Biobrennstoff und einige als Biogasanlagensubstrat eignen. Keine dieser speziellen Energiepflanzen kann derzeit den Landwirten uneingeschränkt zum Anbau in größerem Umfang empfohlen werden.

Tab. 3: Flächennutzung und Flächenpotenziale für den Anbau von Energiepflanzen in Deutschland (STATISTISCHES JAHRBUCH 2003)

		Fläche [ha]
<b>Gesamtfläche Deutschland</b>		<b>35.703.000</b>
	Wald	10.531.000
	Siedlung, Verkehr	4.020.000
	Wasser	808.000
	sonstige <sup>1</sup>	1.241.000
<b>Landwirtschaft</b>		
	Ackerland	11.813.000
	Dauergrünland/ Dauerkulturen	5.221.000
	<b>Summe Landnutzungen</b>	<b>17.034.000</b>
	Flächenanspruch für eine autarke Ernährung: 0,2 ha/EW und Jahr <sup>2</sup>	16.504.400
<b>Flächenpotenzial Biomasse</b>	bei 0,2 ha/EW u. Jahr	<b>529.600</b>
	bei 0,18 ha/EW u. Jahr	<b>1.703.399</b>

<sup>1</sup> Flächen anderer Nutzung und Betriebsflächen

<sup>2</sup> Bevölkerung Deutschland 82.532.000

## 4 Flächenproduktivität, Ökonomie und Ökologie bei Anbau und Nutzung von Biomasse

### 4.1 Flächenproduktivität und Kosten der Biomasseerzeugung für verschiedene Nutzungsstrategien

Biogas wird heute fast ausschließlich in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (BHKW) zur Stromerzeugung genutzt. Die anfallende Wärme wird überwiegend zur Steuerung und Stabilisierung des Vergärungsprozesses eingesetzt. Je nach elektrischem Wirkungsgrad des BHKW und der Ernte- bzw. Lagerverluste gehen nur etwa 12-15 % der eingestrahlten Sonnenenergie ans Netz. Der Wirkungsgrad liegt damit auf dem Niveau einer Fotovoltaikanlage. Biomasse zur thermischen Nutzung (schnellwachsende Hölzer) dagegen erreicht Wärme-Wirkungsgrade von 80 bis 90 %.

Das EEG ermöglicht trotz der geringen Wirkungsgrade einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage, für die Nutzungsform spricht die Sicherung der Wertschöpfung auf Betriebsebene. Trotzdem sind Alternativen der Biogasnutzung aus volkswirtschaftlicher Sicht zu überdenken. Mikrogasturbinen und Brennstoffzellen können zu einer effizienteren Energienutzung führen, diese Verfahren werden derzeit wissenschaftlich-technisch bearbeitet. Obwohl bereits in den 70er Jahren in Pilotvorhaben erprobt, ist die Nutzung von Biogas als Kraftstoff etwas in den Hintergrund geraten.

Im Vergleich zur Bioethanolerzeugung aus Getreide und Biodieselerzeugung aus Rapsöl sind die Flächenerträge für Biogaskraftstoff etwa um das 3,5 bis 5-fache höher (Abbildung 1). Obwohl die Aufbereitung mit der Reinigung (CO<sub>2</sub>-Eliminierung) und Verdichtung aufwändige Verfahren erfordert, steht bei entsprechender technischer Fortentwicklung, Serienproduktion und weiter steigenden Ölpreisen eine wirtschaftliche Alternative in Aussicht.

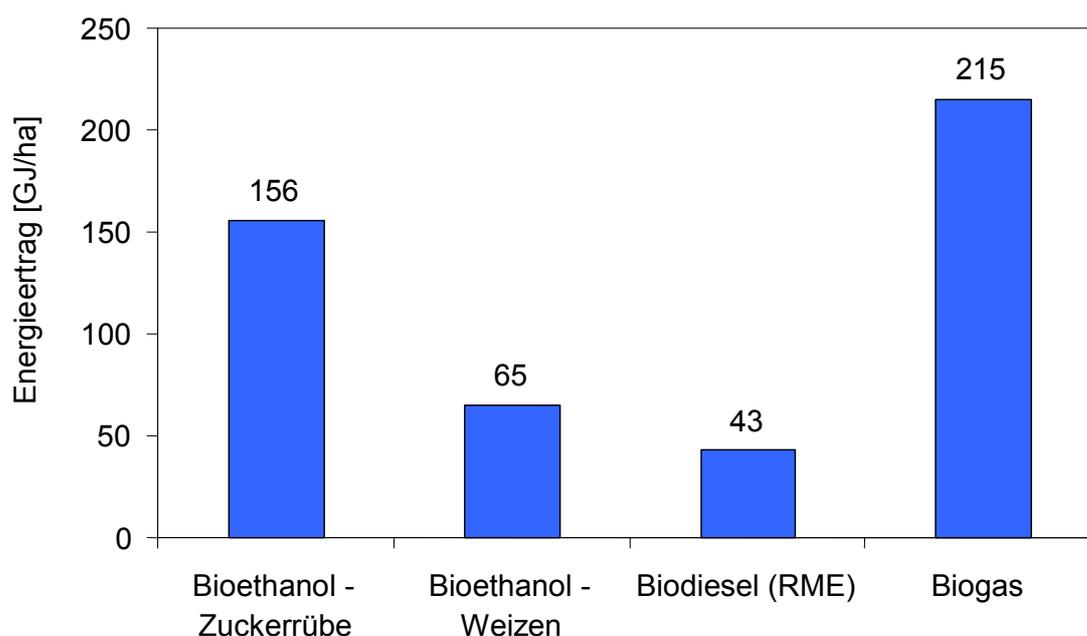


Abb. 1: Energieerträge bei unterschiedlichen Kraftstoffstrategien (FNR, 2004)

Auch bietet sich Biogas als Rohstoff für synthetische BTL-Kraftstoffe (BTL = Biomass-To-Liquid) an. Im Gegensatz zur Umwandlung fester Biomasse zum Kraftstoff entfällt bei dieser Nutzungsstrategie der Vergasungsprozess, der wiederum ein kaum rezyklierbares Abfallprodukt hinterlässt. Gärrückstände dagegen ermöglichen eine vollständige Rückführung von Nährstoffen und eines Teils der organischen Substanz, so dass mit weitgehend ausgeglichenen Humus- und Nährstoffbilanzen gerechnet werden kann.

Diese Flächenproduktivität schlägt sich auch bei den Herstellungskosten nieder. Tabelle 4 zeigt, dass die spezifischen Rohstoffkosten pro kWh bei Biogasgewinnung (hier aus dem Rohstoff Mais) die von Ethanol- oder Biodieselrohstoffen um mindestens 50 %, im Vergleich zum Rapsanbau zur Ölerzeugung um fast 70 % unterschreiten. Auf mittleren bis guten Ackerbaustandorten ist Mais – bezogen auf die Energieproduktion – das kostengünstigste Biogassubstrat, bei einer Energiefruchtfolge nach guter fachlicher Praxis ist mit etwas höheren durchschnittlichen Energiekosten von ca. 2,6 Ct. zu rechnen. Durch eine – durchaus im Rahmen des Möglichen liegende – Optimierung des Gärprozesses könnten die Gasausbeuten erhöht, und die spezifischen Energiebereitstellungskosten gesenkt werden.

Tab. 4: Biomasse zur Energieerzeugung – Flächenproduktivität und Kosten (MOERSCHNER, FISCHER 2003)

Landwirtschaftliche Produktion	Winterraps	Getreide	Zuckerrüben	Energiemais
Ertrag (dt/ha)	35	70	600	470
Preis (€/dt)	22	10	3,5	
Produktpreis (€/ha)	770	700	2100	1100
Erlös für Landwirt (€) inkl. Flächenbeihilfe	1095	1025	2100	1425
<b>Nutzbare Energie nach Rohstoffumwandlung</b>				
Rohstoffbedarf	2,9 kg/l Öl	2,8 kg/l Ethanol	10 kg/l Ethanol	5,3 kg/m <sup>3</sup> Biogas
Produktion pro ha	1200 l Öl	2500 l Ethanol	6000 l Ethanol	10.500 m <sup>3</sup> Biogas
Energieertrag (kWh/ha)	10.500	15.000	36.000	<b>58.000</b>
Rohstoffkosten pro kWh	7,4 Cent	4,7 Cent	5,8 Cent	<b>2,3 Cent</b>

Mit dem Anbau von Energiepflanzen zur Wärmenutzung kann der Biogassektor weder wirtschaftlich noch hinsichtlich der Flächenenergieerträge konkurrieren. Dies gilt besonders für die derzeitige, aber wohl auch für die zukünftige energie-wirtschaftliche Lage. Die Maßstäbe für die spezifischen Bereitstellungskosten werden durch die Waldresthölzer gesetzt, diese liegen bei 1 bis 2 Cent/kWh, durchschnittlich bei etwa 1,5 Cent/kWh. Mit ähnlich geringen spezifischen Produktionskosten können Kurzumtriebsplantagen und Ganzpflanzenkulturen zur Brennstoffherzeugung kultiviert werden (Tabelle 5). Damit liegen die Kosten dieser Nutzungsbereiche um 40 bis 50 % unter denen für Biogas.

Tab. 5: Preise für biogene Energieträger zur Wärmenutzung im Vergleich zu Heizöl 2001 (TLL, HERING ET AL. 2002, verändert)

Brennstoff	Wasser- gehalt der Original- subst. (%)	€/t		€/GJ		Cent/kWh	
		von-bis	Mittel	von-bis	Mittel	von-bis	Mittel
Waldrestholz (Scheitholz, 1 m)	25	65-73	69	3,7-4,2	3,9	13-1,5	1,4
Waldrestholz (Hackgut)	30	41-87	67	2,3-5,0	3,8-	0,8-1,8	1,4
Holzpellets	10	102-153	128	5,8-8,8	7,3	2,1-3,2	2,6
Strohballen	15	46-62	56	2,6-3,5	3,2	0,9-1,3	1,2
Kleipellets	10	51-66	61	3,1-4,0	3,7	1,1-1,4	1,3
Energieholz (Hackgut)	30	62-77	67	3,5-4,4	3,8	1,3-1,6	1,4
Ganzpflanzen- getreide (Ballen)	15	62-82	67	3,5-47,7	3,8	1,3-1,7	1,4
Gebrauchtholz (Hackgut)	10	0-41	31	0-2,4	1,7	0-0,9	0,6
Getreide (Korn)	16	80-100	90	4,6-5,7	5,2	1,7-2,1	1,9
Heizöl	0						4,0

#### 4.2 Beurteilung der Umweltverträglichkeit der Biomasseerzeugung für verschiedene Nutzungsstrategien

Die ökologischen Vor- und Nachteile von Bioenergieträgern können nicht auf Anhieb aufgelistet und bewertet werden, sondern müssen sehr genau und unter Einbeziehung des gesamten Systems und des gesamten Lebensweges der Biomasse ermittelt werden. Dies wird mit sogenannten Ökobilanzen, bei denen die gesamte Bandbreite der Umweltverträglichkeit betrachtet wird, sachgerecht durchgeführt. Bei den Ökobilanzen werden im ersten Bilanzierungsschritt zunächst alle Umweltauswirkungen auf der Basis einzelner ökologischer Größen wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen einer Sachbilanz ermittelt und in der so genannten Wirkungsabschätzung weiter verarbeitet.

In diesem Beitrag soll die Beurteilung der ökologischen Leistungen beispielhaft anhand der Kriterien „Energieinput-Energieoutput-Verhältnis, der CO<sub>2</sub>-Einsparung und der CO<sub>2</sub>-Bilanz vorgenommen werden.

Den ökologischen Vergleich verschiedener biogener und fossiler Kraftstoffe in der Reihenfolge ihrer ökologischen Wertigkeit des Daimler-Chrysler-Konzerns zeigt die Tabelle 6. Biogas als Kraftstoff war nicht Gegenstand dieses Vergleiches, daher wurde eine qualitative Einschätzung hierfür vorgenommen. Erkennbar wird, dass die energetische Effizienz von Maisethanol ähnlich niedrig liegt wie die von fossilen Kraftstoffen, Biodiesel und Energieholzmethanol eine Mittelstellung mit erheblich höherer Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Einsparung einnehmen. Obwohl die

spezifischen Kosten von BTL-Kraftstoffen die höchsten sind, wird die ökologische Effizienz am besten eingeschätzt. Biogas lässt sich nicht uneingeschränkt in diesen Vergleich einordnen, da es gereinigt und verdichtet sowohl zu einem Treibstoff umgewandelt werden kann, als auch als Rohstoff für den BTL-Prozess dienen kann. Dennoch kann wegen der hohen Flächenproduktivität die qualitative Einordnung der Umweltverträglichkeit im Bereich der BTL-Kraftstoffe erfolgen.

Die Abbildung 2 zeigt die Kohlendioxidbilanz verschiedener Biomassestrategien einschließlich der regenerativen Energieträger Wasser, Wind, Geothermie, Photovoltaik und Solarthermie. Die Nutzung von Biogas im BHKW kann bei diesem Vergleich ähnlich positive CO<sub>2</sub>-Quotienten aufweisen wie die Windenergienutzung, Reststrohnutzung, Restholznutzung und Kurzumtriebsplantagenholz. Nachteilig wirken sich aber bei der ökologischen Beurteilung von motorisch genutztem Biogas allerdings die hier nicht dargestellten Emissionen aus dem Verbrennungsprozess aus (hier besonders: NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>-, CO-, Partikel-Emissionen).

Tab. 6: Biogene und fossile Kraftstoffe im Vergleich – Herstellungskosten und CO<sub>2</sub>-Einsparung in der Reihenfolge ihrer ökologischen Wertigkeit (Daimler Chrysler 2003, verändert)

Kraftstoff	Produktionskosten (€/l)	Produktionskosten (€/l Diesel-equ. <sup>2</sup> )	Energiefaktor:	CO <sub>2</sub> -Einsparung gegenü. Diesel (%) ohne Nebenprodukte
			$\frac{\text{Output}_{\text{biogen}}}{\text{Input}_{\text{fossil}}}$ Ohne Nebenprodukte	
Benzin/Diesel aus Erdöl	0,25-0,27	0,25-0,27	0,83/0,91 (nur fossil)	-
Ethanol aus Mais <sup>1</sup>	ca. 0,23	ca. 0,4	0,9	-6,4
Biodiesel aus Rapsöl	0,27-0,45	0,3-0,5	3,1	ca. 68
Methanol aus Pappelholz	0,32-0,52	0,7-1,2	5,7	ca. 83
Biogas	Mittel	mittel	hoch	hoch
BTL-Diesel aus Restholz	0,5-0,7	0,53-0,74	> 10	> 90

<sup>1</sup> inkl. Agrarsubventionen

<sup>2</sup> Dieseldieselforcequivalent

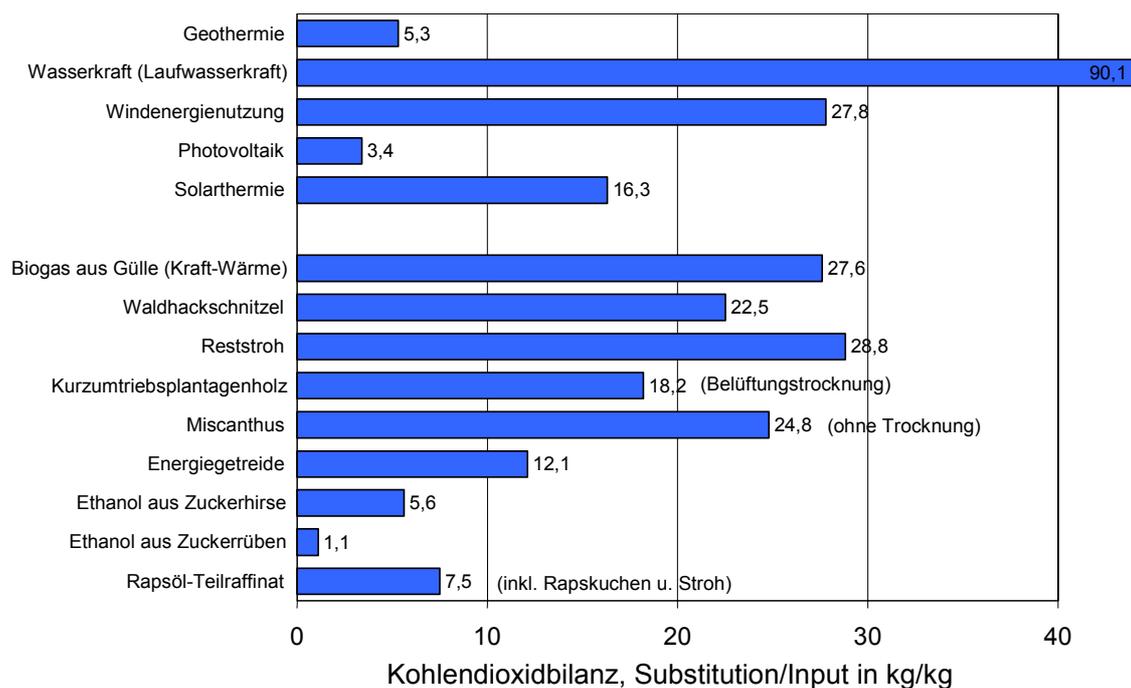


Abb. 2: Kohlendioxidbilanz der erneuerbaren Energieträger, angegeben als Quotient aus Brutto-CO<sub>2</sub>-Minderung je Einheit CO<sub>2</sub>-Emission aus energetischen Aufwendungen (HARTMANN 1995)

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wie sich aus der Darstellung in Tabelle 7 ableiten lässt, wäre es aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll, das knappe Gut landwirtschaftliche Nutzfläche mit schnellwachsenden Baumarten zur Wärmeengewinnung zu nutzen. Unsere Gesellschaft schätzt derzeit jedoch Treibstoffe und Strom aus Biomasse höherwertiger ein, dementsprechend haben diese eigentlich aus makroökonomischer, mikroökonomischer und ökologischer Sicht interessanten Energieträger noch nicht die Zuwachsraten, die sie eigentlich verdienen. Mit dem weiteren Anstieg der Ölpreise und einer ökonomischen Optimierung der Brennstofftechnik werden diese Energieträger mehr an Bedeutung gewinnen.

Daher wird – trotz der geringen Energieeffizienz – die Biogasanlagentechnik zur Stromerzeugung im Vergleich zu anderen regenerativen Energieträgern eine Schlüsselposition in der zukünftigen Entwicklung für die kommenden 20 Jahre einnehmen. Dazu tragen einerseits die Regelungen des EEG mit garantierten Erlösen und Gewinnen für erzeugten Strom bei, zum Anderen aber auch die derzeitige Sonderstellung im Sektor der agrarisch produzierten biogenen Energieträger hinsichtlich der Sicherung der Wertschöpfung im landwirtschaftlichen Betrieb.

Tab. 7: Qualitative Beurteilung der Biogasgewinnung und -nutzung im Vergleich zu anderen biogenen regenerativen Energieträgern

	CO <sub>2</sub> - Bilanz	Ener- gie- effi- zienz	Emis- sionen	Kosten	Flä- chen- pro- duk- ti- vität	Wert- schöp- fung	Frucht- folge	Grün- land- nutz- ung	Hu- mus-/ Nähr- stoff- bilanz
Treibstoff Ethanol	-	--	O	O	O	--	+	Nb	+
Treibstoff BTL <sup>1</sup>	+	-	O	--	+	--	++	+	--
Treibstoff BD/RÖ <sup>2</sup>	+	-	-	O	-	+	O	--	+
Treibstoff Biogas	+	-	O	-	+	++	++	+	++
Strom Biogas BHKW	+	-	-	O	+	++	++	+	++
Wärme Biogas	++	O	-	O	+	++	++	+	++
Wärme Restholz	++	++	O	++	Nb	++	Nb	--	Nb
Wärme KUP <sup>3</sup>	++	++	O	++	++	++	+	--	++
Wärme GGP <sup>4</sup>	++	++	O	++	+	++	+	--	++

<sup>1</sup> Biogas-To-Liquid, synthet. Kraftstoff      ++ = sehr gut / sehr hoch  
<sup>2</sup> Biodiesel/ Rapsöl      + = gut / hoch  
<sup>3</sup> Kurzumtriebsplantage Energieholz      -- = sehr schlecht/ sehr gering  
<sup>4</sup> Getreide-Ganz-Pflanzen      - = schlecht / gering  
 Nb = nicht beurteilbar      o = mittel

Ein wichtiger Vorteil der Biogastechnik ist deren vielseitige Verwendungsmöglichkeit als Wärmeträger, als Rohstoff für Flüssigkraftstoffe und als gasförmiger Kraftstoff zum lokalen Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Eine Investition in die Biogastechnik zum derzeitigen Zeitpunkt – angemessene Preise und den Stand der Technik vorausgesetzt – stellt demnach ein vergleichsweise geringes Risiko für den Landwirt dar.

Der Biogassektor kann weiterhin auf eine hohe Flächenproduktivität verweisen und auf ein hohes Potenzial zur Weiternutzung von Grünlandflächen, die durch die Veränderungen der Milchwirtschaftsstützung und den sich verschärfenden Strukturwandel im Bereich der tierhaltenden, bäuerlichen Betriebe aus der agrarischen Urproduktion herauszufallen drohen. Bayern ist mit seinen Mittelgebirgslandschaften und voralpinen Regionen davon besonders betroffen. Darüber hinaus bietet die Vielfalt der vergärbaren Biomasse die Möglichkeit zu einer ebenso vielfältigen Gestaltung der Fruchtfolge. Sowohl die Grünlandnutzung als auch die Fruchtfolgegestaltungspotenziale bieten die Möglichkeit zur Aufrechterhaltung einer diversifizierten Kulturlandschaft.

Trotz eines im Vergleich zu Kurzumtriebsplantagen sehr intensiven Düngungsregimes hat der Biogassektor wegen der weitgehend vollständigen Rückführung der Nährstoffe und der schwer abbaubaren Humus bildenden Stoffe auf betrieblicher oder regionaler Ebene gegenüber den Bioethanol- und den BTL-Kraftstoffstrategien deutliche Vorteile.

## **Literaturverzeichnis**

FNR (Hrsg.) (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Leipzig. 232 S.

KTBL (Hrsg.) (2004): Der Landwirt als Energieerzeuger, wo liegen die Chancen?, Darmstadt. 236 S.

FNR/KTBL (2004): Fachgespräch Energiepflanzenanbau, FAL Braunschweig 25. und 26.02.2004.

Die vollständige Literaturliste kann beim Verfasser angefordert werden.

# Entwicklungstrends in der Züchtung von Maissorten für den Einsatz in Biogasanlagen

Joachim Eder und Christine Papst,  
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising

## 1 Einleitung

Wenn die Biomasse als Energiequelle zunehmend wichtiger wird und damit ist in der derzeitigen Situation durchaus zu rechnen, dann stehen auch Pflanzenbauer und Pflanzenzüchter vor neuen Zielen und Herausforderungen: Bisher wurde die pflanzliche Produktion in Europa, die Gestaltung der Fruchtfolgen und pflanzenzüchterischen Bemühungen im Wesentlichen auf eine Optimierung der Nahrungs- oder Futtermittelproduktion hin ausgerichtet. Zukünftig wird es auch Pflanzen und Produktionssysteme geben müssen, die auch auf eine maximale Biomasse- und Energieproduktion hin optimiert sind. Und da sich Nahrungs-, Futtermittel- und Energieproduktion nicht ausschließen, sondern hervorragend ergänzen können – ganz besonders unter dem Gesichtspunkt der ökologischen Verträglichkeit –, haben die Pflanzenbauer die Chance, kreativ neue Systeme des Ackerbaus zu entwickeln, die alle Produktionsrichtungen harmonisch miteinander verbinden.

Auch die Pflanzenzüchter stehen vor ganz neuen Möglichkeiten: Die Maximierung der Energieproduktion ist ein neues Zuchtziel, das aber schon in ganz kurzer Zeit bei vielen Kulturarten beeindruckende Erfolge verspricht. Am Beispiel des Maises soll hier ausgeführt werden, welche Möglichkeiten zur Steigerung der Biomasse- und damit Energieproduktion je ha realisierbar erscheinen, wenn man nicht mehr in den Kategorien der Körner- und Silomaiszüchtung zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion denkt, sondern sich von deren Restriktionen frei macht und alleine Anforderungen der Biomasseproduktion als Zuchtziel verfolgt.

Folgende züchterischen Ansätze, um die Biomasse und damit die Energieleistung des Maises zu steigern, sind derzeit im Gespräch:

1. Verschiebung der Reife hin zu spätreifem Material
2. Verbesserung der Kältetoleranz in den späten Zuchtmaterialgruppen
3. Nutzung von Kurztaggenen aus exotischen Populationen
4. Verbesserung der Trockenstresstoleranz durch Integration von Genen für Low-Input-Eignung
5. Adaption des Maises an eine C3/C4-Energiepflanzen-Fruchtfolge.

Hierbei greift man von Seiten der Maiszüchter auf drei unterschiedliche Gruppen von Ausgangsmaterial, sog. Heterosispattern zurück (Abb. 1). Das vielversprechendste, auf dem die Energiemaiszüchtung aufgebaut werden kann, ist das in Italien übliche Stiff-Stalk x Lancaster-Heterosispattern. Dieses kann mit dem deutschen Dent x Flint-Heterosispattern verschmolzen werden. Der italienische Stiff-Stalk-Genpool wird hierbei mit dem deutschen Dentpool und der italienische Lancaster-Pool mit dem deutschen Flintpool rekombiniert. Die Verschmelzung des italienischen Zuchtmaterials mit dem höchsten Leistungspotenzial der Welt und des deutschen Zuchtmaterials mit der weltweit besten Kältetoleranz könnte die Voraussetzung schaffen, spätreife Hybriden mit ausgezeichneter Jugendentwicklung zu erhalten. Da es bei der Entwicklung von Energiemaishybriden vor allem darauf ankommt, große Mengen an Biomasse zu produzieren, kann man in ein Entwicklungskonzept für Energiemais auch noch ein weiteres Heterosispattern aufnehmen, nämlich dies zwischen dem peruanischen und dem damit nicht verwandten mexikanischen Zuchtmaterial. Mais aus dem Kurztag verfügt nämlich über Kurztaggene. Integriert man diese in unsere Zuchtmaterialgruppen, dann stimulieren diese Gene ganz extrem das vegetative Wachstum. Dies könnte zu einem weiteren Anstieg der Biomasse- und damit zu einem Anstieg der Energieleistung je Hektar führen. Im Folgenden sollen nun diese Züchtungsansätze näher erläutert werden.

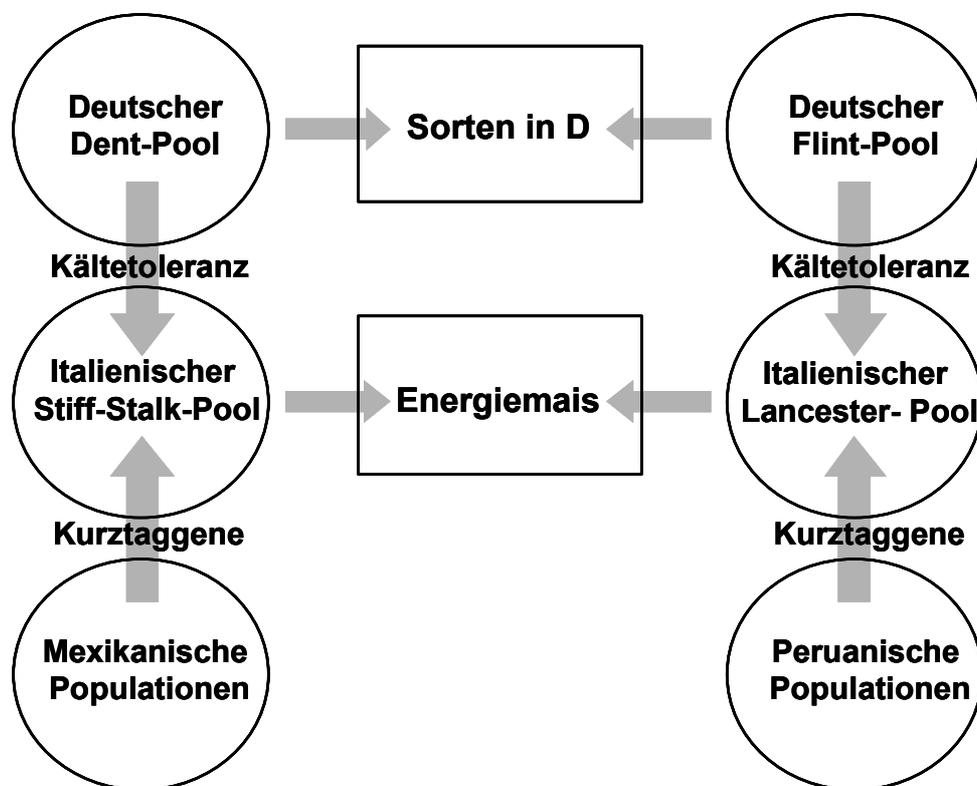


Abb. 1: Möglichkeiten der Nutzung von Zuchtmaterial verschiedener Herkunft für die Energiemaiszüchtung

## 2 Verschiebung der Reife

Die Abb. 2 (HAARHOFF 1990) zeigt die Abhängigkeit der Gesamttrockenmasseleistung (GTM in dt/ha) von der Siloreife (gemessen als Trockensubstanzgehalt der Gesamtpflanze, GTS %), zu 4 verschiedenen Erntezeitpunkten (3 bis 6).

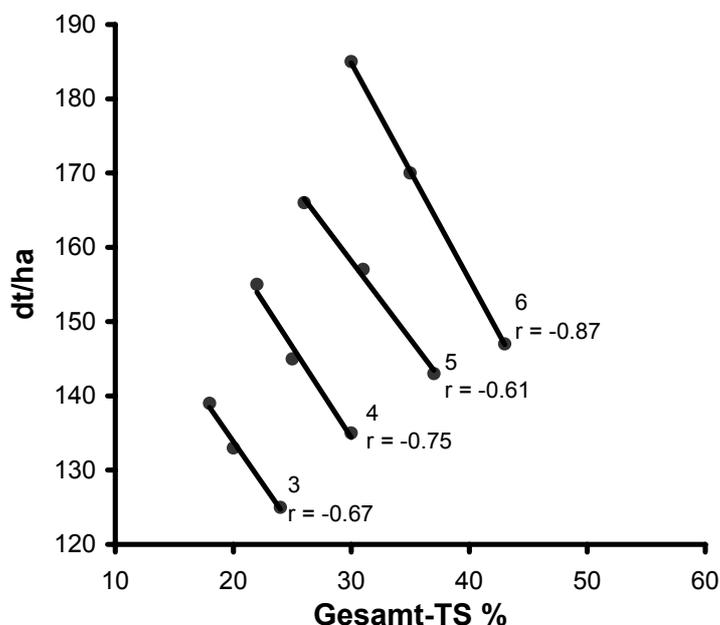


Abb. 2: Abhängigkeit der Beziehung zwischen der GTM und der Reife bei Silomais zu vier verschiedenen Erntezeitpunkten (HAARHOF 1990).

Man kann erkennen, dass

1. die mittleren Erträge des untersuchten Sortiments von Erntetermin 3 zu Erntetermin 6 stetig ansteigen,
2. bei allen 4 dargestellten Erntezeitpunkten der Regressionskoeffizient von Ertrag und Reife ein negatives Vorzeichen hat, was bedeutet, dass die spätreiferen Hybriden, unabhängig vom Erntezeitpunkt, immer höhere GTM-Leistungen erbringen als frühreifere und
3. der Ertragsvorsprung der späten Hybriden gegenüber den frühreifere von Erntetermin 3 zu Erntetermin 6 stetig größer wird.

Diese Zusammenhänge sind an einem deutschen Silomaisortiment festgestellt worden, das ein Reifespektrum von FAO 200 bis FAO 300 abdeckte. Nun reicht das Reifespektrum bei Mais in Südeuropa bis FAO 700, weltweit bis FAO 1000. Für die Entwicklung von Energiemaishybriden ist es somit naheliegend, festzustellen, ob die von HAARHOFF (1990) gefundenen Zusammenhänge auch dann

noch gelten, wenn der Reifebereich von FAO 300 auf wesentlich spätere Sorten ausgedehnt wird.

Ein erster Screening-Test, den wir im Jahr 2002 auf dem LfL-Versuchsbetrieb in Frankendorf, Landkreis Erding, mit italienischen und französischen Hybriden durchführten (Abb. 3), die ein Reifespektrum von FAO 500 bis FAO 700 abdeckten, ließ erkennen, dass die oben dargestellten Zusammenhänge prinzipiell auch dann noch gelten, wenn man das in Deutschland übliche Silomaissortiment verlässt und zu Hybriden der südeuropäischen Reifegruppen übergeht (EDER und EDER 2004).

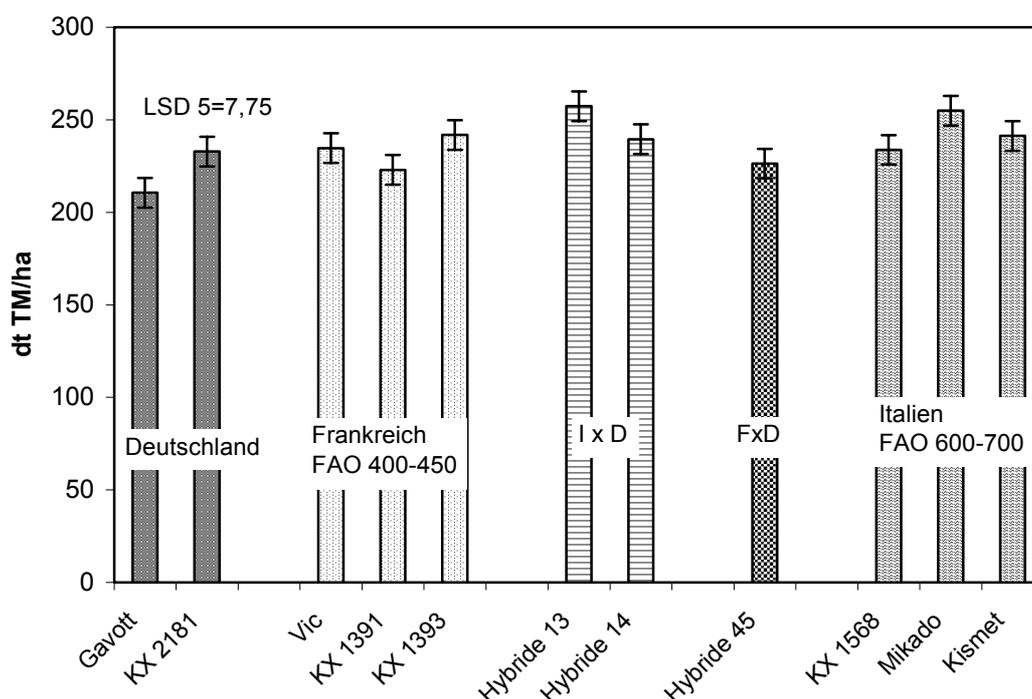


Abb. 3: Trockenmasseertrag 2002 von deutschen, italienischen und französischen Hybriden und deren Kreuzungen im Vergleich an zwei Standorten in Bayern und Weser-Ems

Inzwischen gibt es mehrere Untersuchungen, die zeigen, dass unter deutschen Anbaubedingungen mit südfranzösischen und italienischen Hybriden signifikant höhere Biomasseerträge zu realisieren sind als mit adaptierten deutschen Hybriden (OECHSNER und LEMMER 2001; EDER und EDER 2004). Die Versuche, die wir in den Jahren 2002 und 2003 durchgeführt haben, zeigen, dass der Grad der Überlegenheit der südeuropäischen Hybriden gegenüber dem deutschen Sortenspektrum von zwei Größen abhängt:

1. von der verfügbaren Wärmesumme und
2. von der Wasserversorgung.

Im Jahr 2002, in dem in unseren Versuchen kein Trockenstress auftrat, konnten wir klar erkennen, je wärmer ein Standort war, umso größer war die Überlegenheit der späten, südfranzösischen und italienischen Hybriden gegenüber den frühen deutschen Sorten. So waren an warmen Standorten die besten südfranzösischen Hybriden den besten deutschen um 60 dt/ha überlegen, an kalten Standorten brachten die viel späteren Hybriden aus Südeuropa keine nennenswerten Ertragsvorteile.

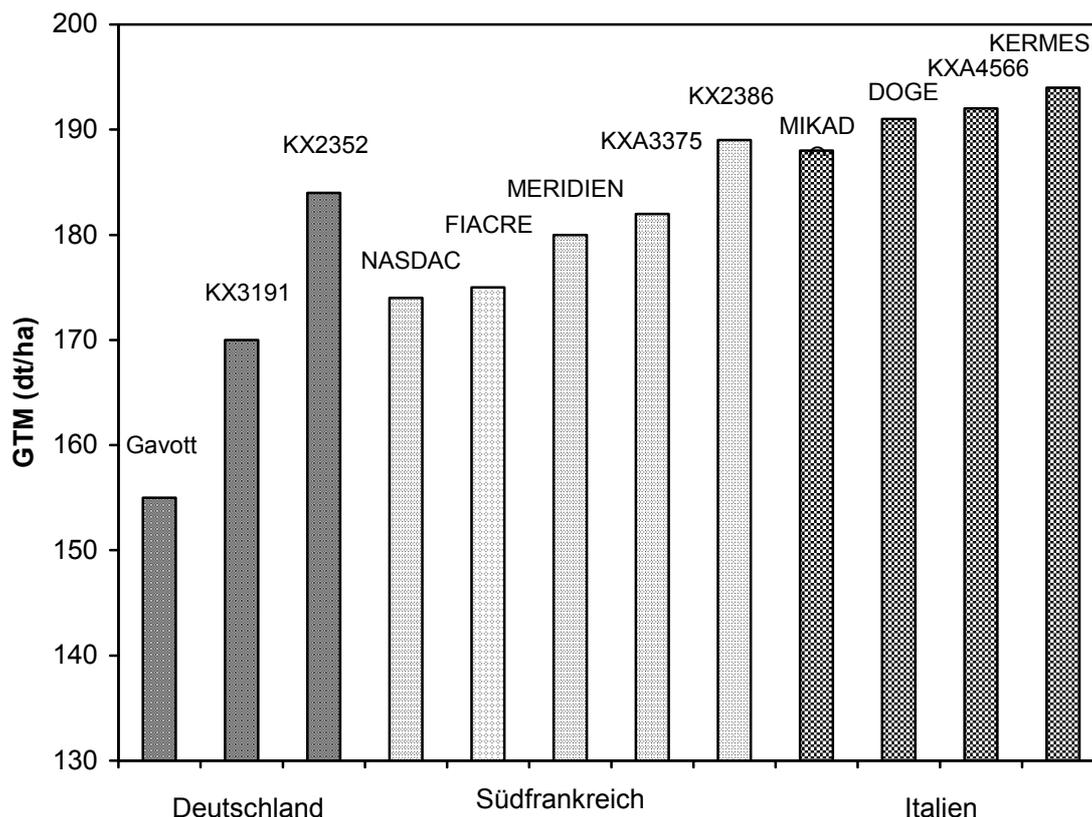


Abb. 4: Ertragsleistung von Energiemaishybriden aus verschiedenen Herkunftsgebieten an Standorten mit starkem Wassermangel (Mittelwert über drei Standorte, 2003)

Im Jahr 2003, das extrem trocken war, war klar zu erkennen, dass die Wasserverfügbarkeit den Grad der Überlegenheit der späten über die frühen Sorten bestimmt.

An drei Standorten, die letztes Jahr extrem unter Wasserknappheit litten, waren die südeuropäischen Sorten den deutschen nur wenig überlegen (Abb. 4). Am Standort Altötting jedoch, der durch Sommergewitter gut mit Wasser versorgt war, konnten sie ihr viel höheres Ertragspotenzial ausspielen (Abb. 5). Die besten südeuropäischen Sorten erreichten hier über 270 dt/ha Gesamttrockenmasse.

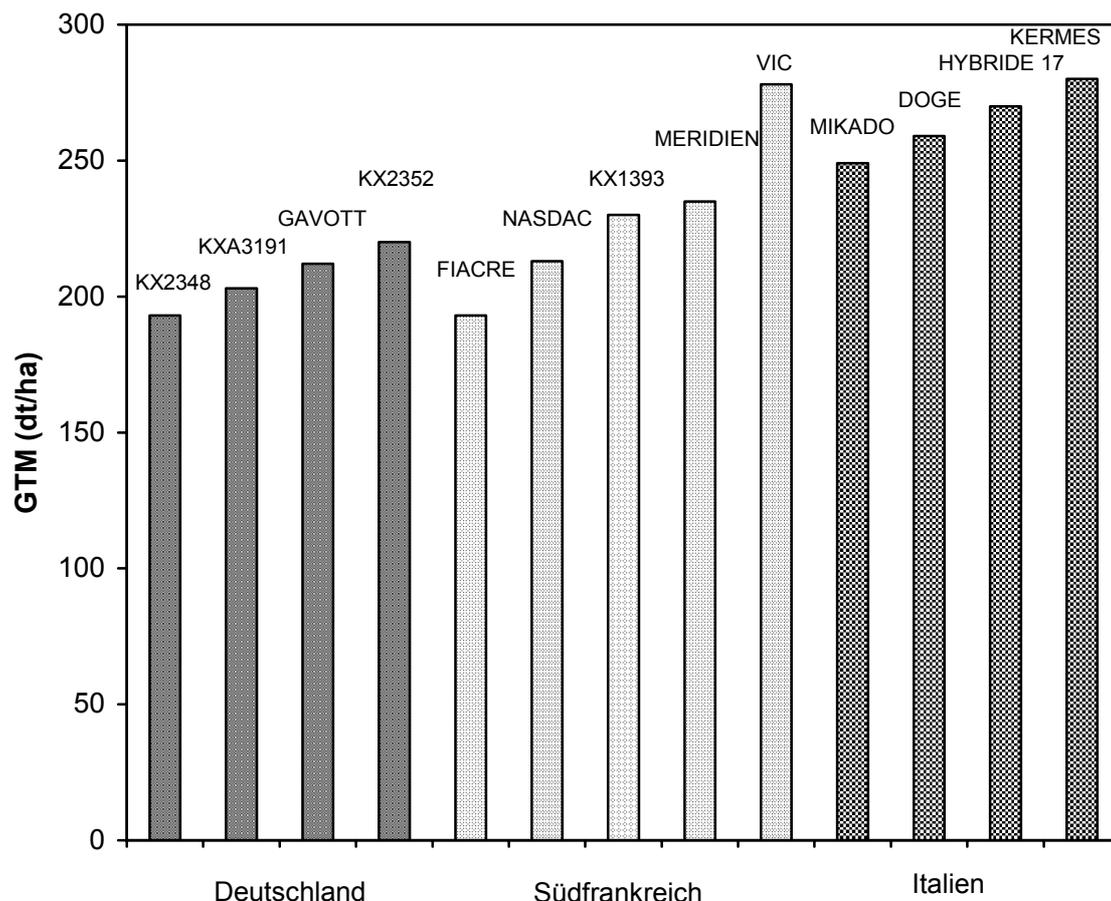


Abb. 5: Ertragsleistung von Energiemaishybriden aus verschiedenen Herkunftsgebieten an einem Standort mit guter Wasserversorgung (Altötting 2003)

Die Zusammenschau unserer in den letzten drei Jahren gewonnenen Ergebnisse mit adaptierten und späten Sorten aus Südeuropa bestätigt eindeutig, die Ergebnissen von HAARHOFF (1990) und Erwartungen aufgrund theoretischer Überlegungen: Der Wechsel in für deutsche Verhältnisse späte Reifegruppen verspricht uns deutliche Ertragsvorteile in der Biomasse- und Energieleistung. Welche Reifebereiche hier möglich sind, müssen die Versuche der nächsten Jahre klären. Solange mit traditionellen Silomaisorten gearbeitet werden muss, werden für Bayern derzeit Sorten einer Reifeinstufung empfohlen, die etwa 50 Einheiten über dem konventionellen Silomais zu Futterzwecken liegt.

Aber unsere Resultate zeigen auch auf, dass die Kältetoleranz und die Trockenheitstoleranz der Sorten die ertragslimitierenden Eigenschaften bei den Energiemaissorten sein werden. Folglich ergeben sich damit zwei weitere Ansätze für die Optimierung von Energiemaissorten: Die Verbesserung der Kältetoleranz des späten Zuchtmaterials und die Verbesserung der Resistenz gegenüber Trockenheit.

### 3 Verbesserung der Kältetoleranz in den späten Zuchtmaterialgruppen

Die Abb.6 zeigt eine adaptierte deutsche Sorte (Gavott S250) inmitten italienischer Hybriden im Jahr 2002.



Abb. 6: Eine adaptierte deutsche Hybride zwischen nicht-adaptierten italienischen Hybriden in einer Leistungsprüfung im Juli 2002

Man kann kurz vor dem Rispenschieben sehr deutlich den enormen Entwicklungsvorsprung der adaptierten Sorte gegenüber dem nicht adaptierten Zuchtmaterial aus Italien erkennen. Dieser enorme Entwicklungsvorsprung hat seine Ursache in der viel besseren Kältetoleranz des deutschen Zuchtmaterials. Und trotz ihrer schlechteren Jugendentwicklung sind – wie oben gezeigt wurde –, die italienischen Sorten am Ende der Vegetationsperiode den deutschen Sorten im Energieertrag weit überlegen. Das bedeutet aber andererseits auch, dass die Überlegenheit noch viel größer werden muss, wenn man die italienischen Sorten mit den Kältetoleranzgenen ausstattet, die im deutschen Zuchtmaterial im Laufe der letzten 50 Jahre stark akkumuliert wurden. Heute stehen uns dafür zwei sich ergänzende Wege zur Verfügung: Zum einen die schon immer angewandte phänotypische Selektion auf Kältetoleranz an stark differenzierenden Standorten und zum anderen die relativ neue Methode der Marker gestützten Selektion (MAS).

Die Abb. 7 zeigt die Unterschiede in der Jugendentwicklung zwischen deutschen und italienischen Linien sowie auch die Unterschiede innerhalb dieser beiden Zuchtmaterialgruppen.



Abb. 7: Unterschiede in der Kältetoleranz zwischen deutschen (hinten) und italienischen Inzuchtlinien (Bildmitte) im Zuchtgarten der Fa. KWS in Einbeck im August 2002

Die zweite Methode, die Kältetoleranz des italienischen Zuchtmaterials zu verbessern, ist die Marker gestützte Integration von Kältetoleranzgenen aus dem deutschen Zuchtmaterial in das italienische. Ob und wie erfolgreich dieser Ansatz ist, wird bei Maiszuchtunternehmen derzeit geprüft: Gene für Kältetoleranz, die im Rahmen anderer Forschungsprojekte identifiziert wurden, werden Marker gestützt in kälteempfindliche italienische Inzuchtlinien integriert. In zwei Jahren, wenn die Verifikationsexperimente abgeschlossen sein sollen, will man wissen, wie wirksam diese Methode die Kältetoleranz verbessern kann.

#### 4 Nutzung von Kurztaggenen aus exotischen Populationen

Wenn man Maispopulationen, die an Kurztagverhältnisse angepasst sind, im deutschen Langtag anbaut, dann reagieren die Populationen mit einem verstärkten vegetativen Wachstum (Abb. 8). Manche dieser Populationen werden 4-5 m lang.

Der Langtageinfluss stimuliert jedoch nicht nur das Längenwachstum. Auch das Dickenwachstum wird enorm stimuliert (Abb. 9). Es ist naheliegend, die Wirkung solcher Kurztaggene in einem Energiemais-Zuchtprogramm zu nutzen. Dies geschieht, indem man auf der Saatelterseite der Energiemaishybriden Kurztaggene aus mexikanischen Populationen und auf der Pollenspenderseite Kurztaggene aus peruanischen Populationen integriert.



Abb. 8: Peruanischer Mais im Zuchtgarten der Fa. KWS in Einbeck



Abb. 9: Stängel einer deutschen (links), einer italienischen (Mitte) und einer peruanischen Sorte (rechts), 2002, Foto: KWS

Durch die Einlagerung von Kurztaggenen aus unterschiedlichen Quellen stellt man sicher, dass die Heterosis zwischen Saaterter- und Pollenspender-Genpool erhalten bleibt.

## **5 Verbesserung der Trockenstresstoleranz durch Integration von Genen für Low-Input-Eignung**

Das extrem trockene letzte Jahr 2003 hat deutlich Grenzen in der potenziellen Biomasse- und Energieproduktion aufgezeigt. Im letzten Jahr wurde vielerorts das Wasser sogar im Silo- und Körnermaisbau zum ertragsbegrenzenden Faktor, obwohl in diesen beiden Nutzungsrichtungen der Mais weniger Wasser braucht als bei der Biomasse- und Energieproduktion. Umso wichtiger wird es bei der Entwicklung von Energiemaishybriden sein, sie mit Genen auszustatten, die einen hohen Biomasseertrag auch unter stark wechselndem Wasserangebot stabilisieren. Auch hier bieten sich wieder zwei unterschiedliche Wege an: Zum einen die phänotypische Selektion, zum anderen wiederum die Marker gestützte Selektion.

Wenn wir phänotypisch selektieren, dann bieten sich dafür Orte mit geringen Jahresniederschlägen an. Effizienter wirkt die Selektion jedoch an Orten mit höheren Niederschlägen, deren Böden das Wasser nicht speichern können. Ein temporär wiederkehrender starker Wassermangel stresst die Maispflanzen nämlich

mehr als ein kontinuierlich moderater. Bezüglich der Selektion auf Stresstoleranz gegenüber einem geringen Wasserangebot liegen in allen Züchtungsfirmen ausreichend Erfahrungen vor, um eine wirksame Selektion betreiben zu können.

Neu dagegen ist die Marker gestützte Selektion auf dieses Kriterium: In einem langjährigen Forschungsprojekt der Universität Hohenheim zur Entwicklung von Low-Input-Sorten wurde festgestellt, dass Zuchtmaterial, das unter Low-Input-Bedingungen entwickelt wurde, auf dem High-Input-Niveau eine fast gleich gute Leistungsfähigkeit besitzt wie Zuchtmaterial, das unter High-Input-Bedingungen selektiert wurde. Es wurde weiter festgestellt, dass das Low-Input-Zuchtmaterial sowohl unter Low-Input-Bedingungen als auch unter High-Input-Bedingungen ertragsstabiler ist (THIEMT 2003). Dies hat eine besondere Bedeutung für die Entwicklung von Energiemaissorten mit einem entsprechend hohen Wasserbedarf.

Inzwischen sind im Rahmen dieser Forschungsaktivitäten in einer Population auch genetische Marker für die Low-Input-Eignung entwickelt worden (PRESTERL ET AL. 2003). Der Ansatz erscheint Erfolg versprechend. Gegenwärtig wird ihre Brauchbarkeit zur Verbesserung von Energiemaishybriden getestet.

## 6 Adaption des Mais an eine C3/C4-Energiepflanzen-Fruchtfolge

Die bisher betrachteten züchterischen Ansätze lassen deutliche Ertragssteigerungen bei Mais erwarten. Aber bei allem Optimismus: Auch in der fernsten Zukunft wird uns das hohe Leistungspotenzial des Maises nur in der warmen Jahreszeit zur Verfügung stehen. In den kühlen und kalten Monaten zwischen Mitte Oktober und Ende April wird man Biomasse und damit Energie in unserem Klimaraum nur sinnvoll mit C3-Pflanzen produzieren können. Will man höchste Biomasse- und damit höchste Energieerträge je Hektar und Jahr erzielen, dann drängt sich eine C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge geradezu auf.

Ein Beispiel, unter vielen denkbaren, ist in der folgenden Abb. 10 wiedergegeben:

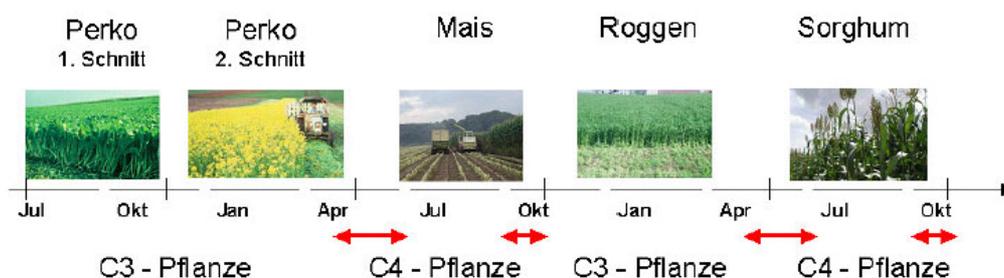


Abb. 10: Beispiel einer C3/C4-Energiepflanzen-Fruchtfolge

Nach Getreide könnte man zum Beispiel im Juli noch eine Zwischenfrucht (z.B. Perko, eine Kreuzung aus tetraploidem Chinakohl und tetraploidem Rübsen) säen. Dieser ließe sich bereits im Oktober ernten. Da er in der Regel wieder austreibt und auch bei tiefen Temperaturen gut zu wachsen vermag, kann er Ende April noch einmal geerntet werden. Danach kann dann in der Fruchtfolge die C4-Pflanze Mais folgen.

Dies steht als Beispiel dafür, dass ein kombinierter Anbau einer C3- und einer C4-Pflanze mehr zu leisten vermag als der alleinige Anbau einer C4-Pflanze. Ergebnisse dazu sind in der Abb. 11 zu finden. Sie vergleicht die Gesamttrockenmasseerträge von Energiemaissorten, wenn sie zum optimalen Zeitpunkt ausgesät werden, mit den Gesamttrockenmasseerträgen, wenn diese etwa einen Monat später ausgesät werden. Wie zu erwarten, sind natürlich die Maiserträge bei der verkürzten Vegetationszeit geringer. Baut man jedoch vor dem Mais die C3-Zwischenfrucht Roggen an, dann erzielt man mit der Kombination Winterroggen/Mais in der Gesamttrockenmasse sowohl bei Spät- als auch bei Normalsaat in etwa die gleichen Erträge. Die um einen Monat längere Vegetationszeit des zum optimalen Zeitpunkt angebauten Maises wird durch die Leistung der C3-Pflanze Roggen kompensiert, die diese in der kühlen Frühjahrszeit zu erbringen vermag. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte DÖRNTE (2003).

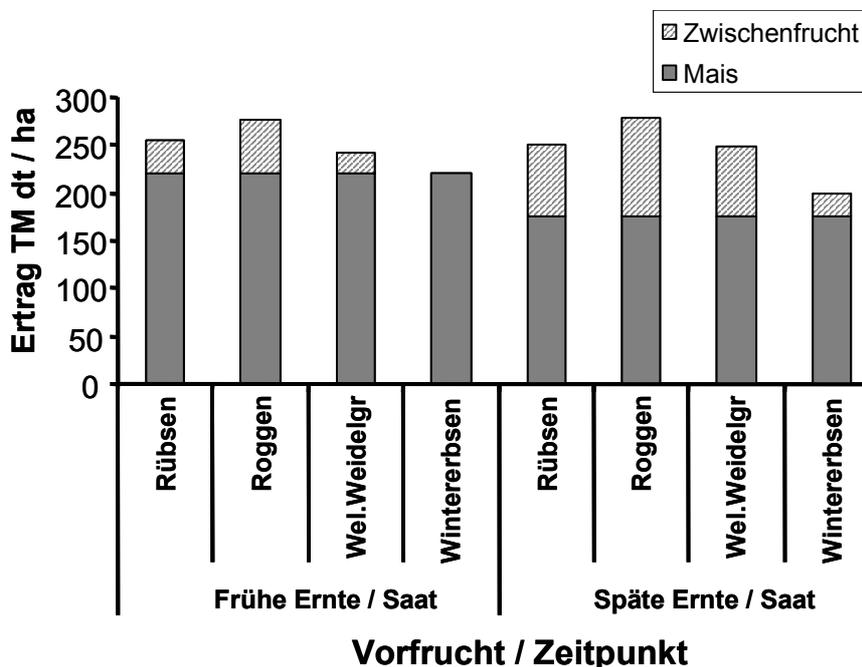


Abb. 11: Gesamttrockenmasseleistung von Mais mit verschiedenen Vorfrüchten bei Normalsaat und Spätsaat, Freising 2003/2004

Man darf also erwarten, dass der Energiepflanzenanbau, zumindest in Gebieten mit überdurchschnittlichen Niederschlägen, in Form von C3/C4-Pflanzen-Frucht-

folgen durchgeführt werden wird. Dies hat Rückwirkungen für die Maiszüchtung: Der Mais muss mit der späteren Saatzeit zurechtkommen und er muss vor allem mit dem von der Vorfrucht eingeschränkten Wasservorrat effizient umgehen können.

Viele Fruchtfolgeversuche werden in den unterschiedlichen Regionen Deutschlands nötig sein, um die optimalen Kombinationen von C3- und C4-Pflanzen für das jeweilige Gebiet herauszufinden. Vor allem auch um herauszufinden, welchen Zeitraum man den C3- und welche Zeitspanne man den C4- Pflanzen einräumen soll, um maximale Energieerträge je Jahr und Hektar zu realisieren.

## **7 Zusammenfassung**

Wir gehen davon aus, dass zukünftig ein erheblicher Teil des Weltenergiebedarfs über die Nutzung von Biomasse gedeckt werden muss. Dies bedeutet, dass es unsere Aufgabe ist, zunächst die für diese Nutzungsrichtung optimalen Pflanzen zu identifizieren und diese dann züchterisch auf eine maximale Energieleistung je Flächeneinheit hin zu optimieren.

Man darf davon ausgehen, dass in Energiepflanzen-Fruchtfolgen, aber auch in Fruchtfolgen, in denen sich Pflanzen für die Energie-, Nahrungs- und Futtermittelproduktion abwechseln, eine Kombination von C3- und C4-Pflanzen höhere Biomasse- und Energieerträge wird erzielen können, als eine Fruchtfolge, in der nur C3- oder nur C4-Pflanzen vorkommen. Dies ist schon deshalb zu erwarten, weil in den kühlen und in den kalten Jahreszeiten die C3-Pflanzen den C4-Pflanzen leistungsmäßig weit überlegen sind und umgekehrt in den warmen Sommermonaten die C4-Pflanzen das weitaus höhere Leistungspotenzial besitzen und auch das Wasser effizienter nutzen können.

In einer C3/C4-Pflanzen-Fruchtfolge wird der Mais aufgrund seines heute schon hohen Leistungspotenzials von 150-200 dt/ha Gesamttrockenmasse eine wichtige Rolle spielen. Über verschiedene sich ergänzende züchterische Ansätze wird es möglich sein, innerhalb eines überschaubaren Zeitraums die Gesamttrockenmasseproduktion bei Mais auf bis zu 300 dt/ha anzuheben, was einem Öläquivalent von 15 000 Liter/ha entspricht.

Dies kann über folgende züchterische Ansätze geschehen:

1. Verschiebung der Reife
2. Verbesserung der Kältetoleranz in den späten Zuchtmaterialgruppen
3. Nutzung von Kurztaggenen aus exotischen Populationen
4. Verbesserung der Trockenstresstoleranz durch Integration von Genen für Low-Input-Eignung
5. Adaption des Maises an eine C3/C4-Energiepflanzen-Fruchtfolge.

Derzeit wird von verschiedenen Züchtern italienisches, deutsches und exotisches Zuchtmaterial zusammengeführt, um die Vorteile der jeweiligen Materialgruppe zu nutzen. Das italienische Zuchtmaterial hat unter warmen Bedingungen das weltweit höchste Leistungspotenzial. Wird es jedoch unter den kühlen Anbaubedingungen Deutschlands angebaut, kann es aufgrund der geringen Kältetoleranz sein Ertragspotenzial nicht realisieren. Das deutsche Zuchtmaterial hat weltweit die beste Kältetoleranz. Integriert man die Kältetoleranz des deutschen Zuchtmaterials in das italienische, dann kann dieses sein enormes Leistungspotenzial auch unter deutschen Klimabedingungen realisieren. Exotischer Mais aus Peru und Mexiko verfügt über Kurztaggene, die das vegetative Wachstum enorm stimulieren können. Kreuzt man neben den deutschen Genpools auch diese Materialgruppen in das italienische Zuchtmaterial ein, dann wird das vegetative Wachstum verlängert. Dies hat zur Folge, dass während der gesamten Vegetationszeit die gesamte Assimilationsleistung fast ausschließlich dafür verwendet wird, den Blattapparat und damit die Assimilationsleistung selbst immer weiter zu vergrößern.

## **Literaturverzeichnis**

DÖRNTE, G. (2003): Versuche zur Integration von hochertragreichen Maissorten in das Zweikulturnutzungssystem. Diplomarbeit Witzenhausen.

EDER, B. und J. EDER (2004): Mehr Masse als Klasse – An Mais für Biogasanlagen werden andere Anforderungen gestellt. Bay. Landw. Wochenblatt 1/2004, S. 44-46.

OECHSNER, H. und A. LEMMER (2001): Abschlussbericht des Forschungsprojektes „Bestimmung des Gasertrages verschiedener Feldfrüchte“, Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim.

HAARHOFF, S. (1990): Abhängigkeit der Ertrags-, Reife- und Qualitätsmerkmale vom Entwicklungsstadium und Pflanzentyp bei Silomais. Diss. Univ. Hohenheim.

JÄGER, F. (2003): Energiemais – Der Turbolader für die Biogasanlage. KWS-Ratgeber.

KESTEN, E. (2003): Energiefarming – Chance für die KWS SAAT AG. Interner Vortrag.

THIEMT, E.-M. (2003): Untersuchungen zur Bedeutung der Stickstoffeffizienz für die Ertragssicherheit bei Mais. Diss. Hohenheim.

PRESTERL, T., C. TIETZE und H.H.GEIGER (2003): Genetische Basis der Stickstoff-Effizienz bei Mais. Vortrag anlässlich der 54. Züchtertagung in Gumpenstein.

# **Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen**

Felipe Kaiser<sup>1</sup>, Michael Diepolder<sup>2</sup>, Joachim Eder<sup>2</sup>, Stephan Hartmann<sup>2</sup>, Helmar Prestele<sup>3</sup>, Raphaela Gerlach<sup>2</sup>, Gerald Ziehfreund<sup>1</sup> und Andreas Gronauer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, Freising

<sup>2</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising

<sup>3</sup> Technologie- und Förderzentrum für nachwachsende Rohstoffe, Straubing

## **1 Einleitung und Zielsetzung**

Als Basissubstrat zur Biogaserzeugung wird in der Regel der bei der Tierhaltung auf den Betrieben anfallende Wirtschaftsdünger in Form von Flüssigmist (Gülle) oder Festmist eingesetzt. Aufgrund dessen relativ geringen Gasbildungspotenzials ist es jedoch sinnvoll, zusätzlich andere, energetisch hochwertigere Stoffe gemeinsam mit dem Basissubstrat Gülle zu vergären. In den letzten Jahren wurden zunehmend sogenannte „Nachwachsende Rohstoffe“ (NaWaRo) als Inputmaterial eingesetzt. Ungefähr die Hälfte der Biogasanlagen in Bayern setzen inzwischen NaWaRo ein, um Methan zu erzeugen. Das „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) hat durch die Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Biogastechnologie diese Entwicklung weiter unterstützt. Die Biogasanlagenbetreiber verwenden aber derzeit häufig NaWaRo, ohne genaue Kenntnisse über deren Prozesskinetik, Stoffverhalten, Substrateigenschaften, Erträge und Auswirkungen auf die Ökonomie einer Biogasanlage zu haben.

Deshalb werden in einem laufenden Forschungsprojekt, in dem mehrere Arbeitsgruppen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) zusammenarbeiten, verschiedene Arten bzw. Sorten von NaWaRo – inklusive kompletter Analyse – geprüft, um die Grundlagen für ein EDV gestütztes Expertensystem für landwirtschaftliche Biogasanlagen zu schaffen. Diese Grundlagen umfassen Angaben über alle relevanten Pflanzeninhaltsstoffe und deren Abbaukinetik in einer Biogasanlage sowie dynamisch erfasste Daten zum Gasertrag und der Gaszusammensetzung.

## **2 Material und Methode**

### **2.1 Versuchsfermenter zur Methanermittlung**

Um die Prozesskinetik des anaeroben Abbaus und die Gaserträge der Versuchsvarianten zu prüfen, wurden Batch-Versuche mit umfangreicher Analytik in 2 Laborfermenteranlagen (Kleinlabor und Großlabor) durchgeführt. Die Kleinlaborfermenteranlage besteht aus 5 Klimaschränken mit regelbarer Temperatur. Jeder

Klimaschrank enthält 14 Glasreaktoren ( $V = 2 \text{ L}$ ), die jeweils an einen eigenen Gaszähler (Milligascounter<sup>®</sup>) angeschlossen sind. Die Gasproduktion wird über die Milligascounter<sup>®</sup> automatisch kontinuierlich erfasst. Vom Gaszähler werden die Gasmengen der Wiederholungen ( $n = 5$ ) in einem Gassack zusammengeführt und zwischengespeichert, um von dort manuell der Gasanalyse zugeführt zu werden. Alle relevanten Daten werden in einer Access-Datenbank gespeichert.

Die Großlaborfermentieranlage besteht aus 24 Reaktoren ( $V = 36 \text{ L}$ ). Jeder Reaktor verfügt über einen eigenen Gaszähler (Milligascounter<sup>®</sup>) und Gassack. In diesem Versuchskonzept übernimmt ein Steuer-, Mess- und Aufzeichnungsgerät automatisch die Gasmengenerfassung und die Gasanalysen. Bei dieser Anlage werden über den Versuchszeitraum mindestens 10 Proben vom Reaktorinhalt genommen, um die Abbaukinetik zu untersuchen.

## **2.2 Substrate**

Die beprobten Flächen der Grünlandvarianten befinden sich am Lehr- und Versuchsgut Spitalhof in Kempten (Allgäuer Alpenvorland), im Raum Passau (Bayerischer Wald) und im Raum Steinach (Vorwald des Bay. Waldes).

Im Allgäuer Alpenvorland wurden Parzellen von langjährigen Exaktversuchen des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) der LfL beprobt, auf denen sich Grünlandbestände etabliert haben, die von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) nativen Ursprungs dominiert werden. Sie weisen eine unterschiedliche Bewirtschaftungsintensität und teilweise auch stark differierende Pflanzenbestände auf. Der vorhandene Vegetationstyp einer Weidelgras-Weißklee-Weide erlaubt eine sehr hohe Nutzungsintensität. Er ist repräsentativ für das Grünland vieler voralpiner Milchviehbetriebe mit hoher Grundfutterleistung und Silagewirtschaft mit 4-5 Schnitten pro Jahr (Tabelle 1).

Im Bayerischen Wald wurde Material von Beständen genommen, welche einen geringen Weidelgrasanteil, dagegen einen höheren Obergrasanteil aufweisen. Die Bewirtschaftungsintensität reicht dabei – entsprechend der Nutzungsspannweite im Mittelgebirgsraum – von extensiver Nutzung mit geringer Düngung und spätem ersten Schnitt bis hin zu mittel- bis intensiv genutzten Grünlandbeständen mit drei bis vier Schnitten im Jahr (Tabelle 1).

Im Vorwald des Bayerischen Waldes wurde Material von Beständen genommen, welche einen geringen Weidelgrasanteil, dagegen einen höheren Obergrasanteil aufweisen und als Glatthaferwiesen unterschiedlicher Ausprägung klassifiziert werden können.

Die drei untersuchten Maissorten wurden an zwei verschiedenen Terminen (April und Mai) gesät und zu vier verschiedenen Terminen geerntet. Die Maissorten sowie die Gräserarten stammen aus den Versuchspartellen des IPZ in Freising und Umgebung.

Tab. 1: Grünlandvarianten

Kennzeichen	Standort	Schnitte pro Jahr	Düngungsart	N-Düngung (kg/ha) <sup>*)</sup> /(m <sup>3</sup> /ha) <sup>**</sup>
G1	Allgäuer Alpenvorland	5	mineralisch	300
G2		5	mineralisch	200
G3		4	mineralisch	300
G4		4	mineralisch	200
G5		4	mineralisch	120
G6	Allgäuer	4	Gülle	4 x 20
G7	Alpenvorland	4	ohne	ohne
G8		3	Gülle	3 x 20
G9	Bayerischer Wald	5	Gülle	3 x 20
G10		4	Gülle	3 x 20
G11		3	Gülle	2 x 25
G12	Vorwald des Bay. Waldes	3	ohne	ohne

<sup>\*)</sup> bei mineralischer Düngung

<sup>\*\*)</sup> bei Düngung mit Gülle

Alle weiteren NaWaRo stammen aus den Versuchspartellen und Versuchsflächen des Technologie- und Förderzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), außer Miscanthus, das in Freising unter die Betreuung vom TFZ angebaut wurde.

Für die Konservierung der Substrate (Silierung) wurden standardisierte Versuchssilos nach MAURITZ (1992) aus Hart-PVC angefertigt. Diese Silos haben einen Durchmesser von 0,38 m und eine Höhe von 1,00 m (Volumen = 0,1134 m<sup>3</sup>); der sich bildende Gärstoff wird durch einen Abfluss am Behälterboden abgeführt. Die Silos wurden in einer geschlossenen Halle befüllt und für die Winterzeit in einem Gewächshaus untergebracht, um niedrige Temperaturen zu vermeiden. Die Silierdauer betrug für alle Substrate zwischen 90 und 160 Tage.

### 2.3 Berechnungsgrundlagen

Die Methanerträge der Versuche wurden auf trockenes Norm-Gas (273,15 K und 1013,25 hPa) umgerechnet.

Für die Berechnung des Stromerlöses wurde ein Heizwert von Methan von 9,95 kWh/m<sup>3</sup>, ein elektrischer Wirkungsgrad des BHKW von 35 % und ein Erlös von 17,5 € Cent je kWh Strom zu Grunde gelegt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Methanerträge von Grünland

Die Grünlandvarianten ergaben Mittelwerte der Methanerträge aus Frischmaterial von 282 bis zu 438 L Methan/kg oTM. Die Proben aus Silagen zeigten einen Schwankungsbereich von 219 bis 436 L Methan/kg oTM und die Proben aus Heu einen Schwankungsbereich von 250 bis 310 L Methan/kg oTM (Abbildung 1).

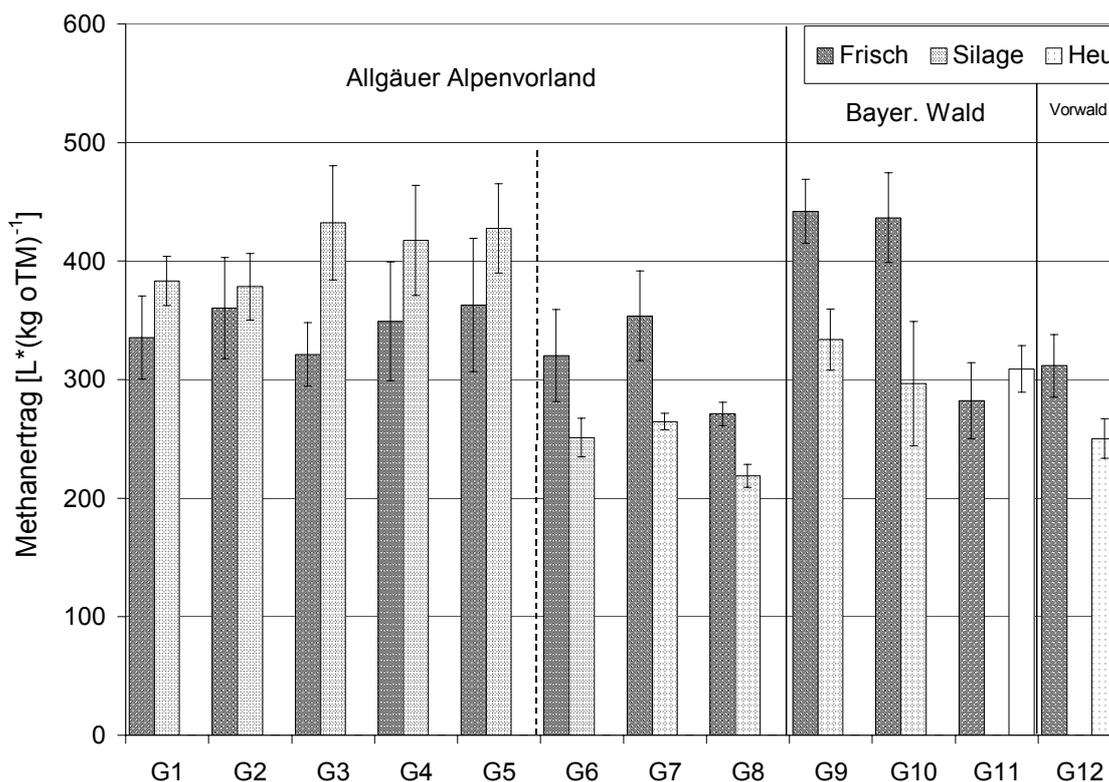


Abb. 1: Methanertrag der Grünlandvarianten bezogen auf die organische Trockenmasse

Da die Silierung auch eine Vorgärung des Substrates darstellt, sollte das Siliergut wegen den verfügbaren organischen Säuren einen höheren Methanertrag als die Frischprobe aufweisen. Aber dem stehen die Silierverluste entgegen, die auch zu einem niedrigeren Methanertrag führen können. Die Unterschiede der Methanerträge zwischen Frischproben und Silagen werden daher erst mit den Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen, die noch nicht zur Verfügung stehen, erklärbar sein.

Um flächenbezogene Methanerträge zu erhalten, müssen die Methanerträge aus den Gärversuchen mit den Ertragsdaten des Grünlandes kombiniert werden. Die Trockenmasseerträge im Alpenvorland schwankten mit einer Ausnahme (G7) zwischen 90 und 120 dt/ha, beim Grünland im Bayerischen Wald dagegen lagen die Erträge nur etwa auf der Hälfte (Abbildung 2).

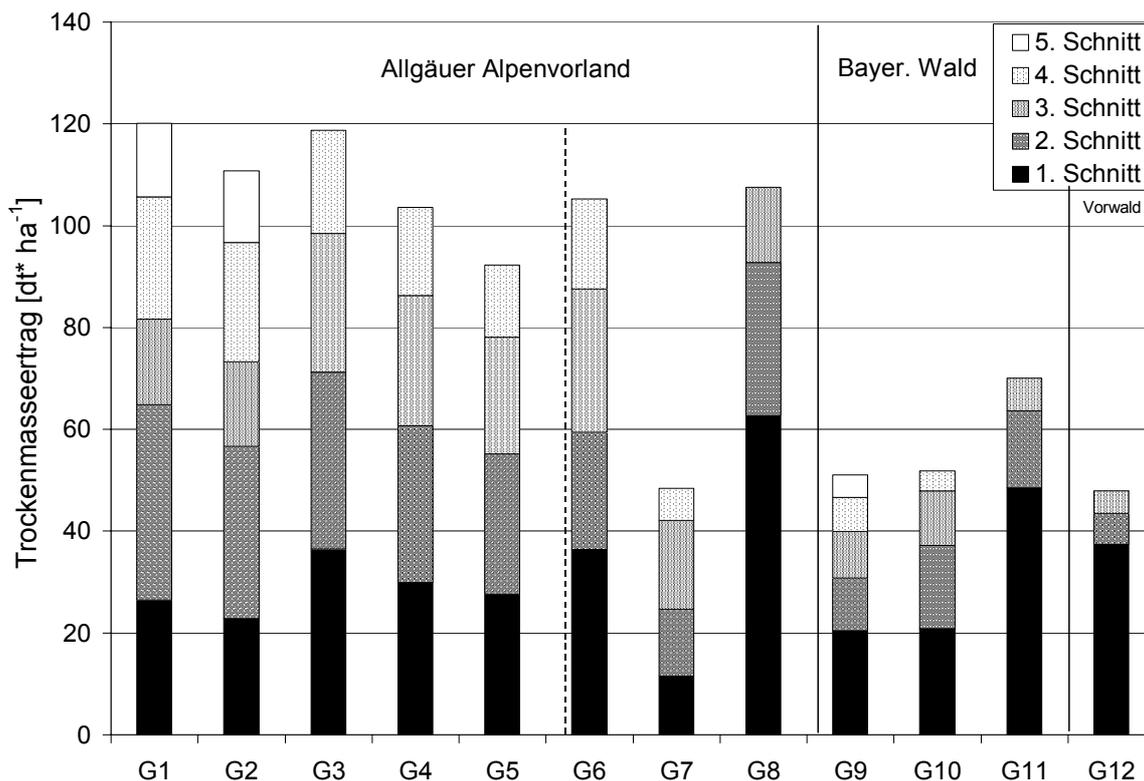


Abb. 2: Trockenmasseertrag der Grünlandvarianten

Die Methanerträge pro Hektar Grünland zeigten eine Bandbreite von 1.098 bis 4.682 m<sup>3</sup> Methan/a (Abbildung 3). Dies entspricht einem Faktor von 4,26. Diese hohe Variabilität bestätigt die Notwendigkeit, der Vielfalt der bayerischen Standortgegebenheiten entsprechend Rechnung zu tragen.

Der aus ökonomischer Sicht wesentliche Faktor, nämlich der potenzielle Stromerlös je Hektar Anbaufläche, ist für alle untersuchten Grünlandvarianten ebenfalls in Abbildung 3 dargestellt. Es ergaben sich Erlösschwankungen von 657 bis maximal 2.825 €/ha/a.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass durch die Bewirtschaftungsintensität und die Standortfaktoren deutliche Unterschiede in den Methanertragspotenzialen von Dauergrünland zu erwarten sind.

Die Ursachen dieser Schwankungen liegen neben den Standortfaktoren, der pflanzensoziologischen Gesellschaft des Standortes sowie den Trockenmasseerträgen insbesondere in der Verdaulichkeit und Konzentration der Inhaltsstoffe. Diese Abhängigkeiten werden derzeit durch die differenzierten Laboranalysen untersucht.

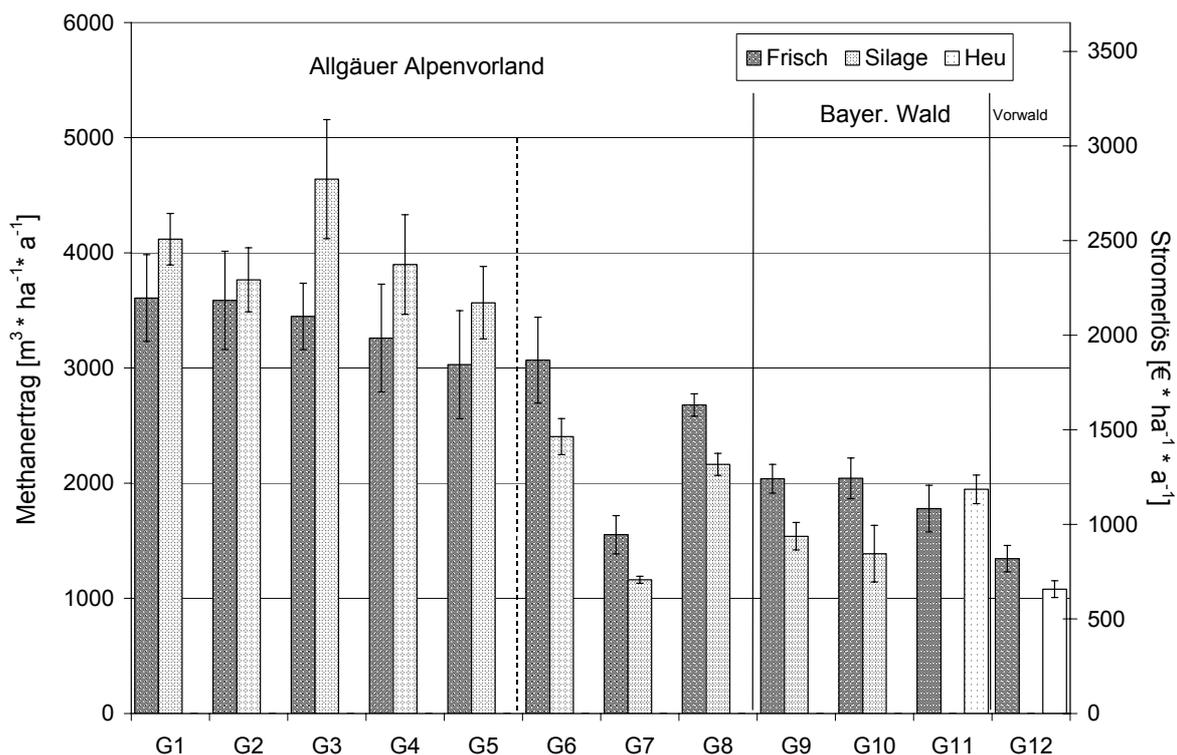


Abb. 3: Methanertrag und Stromerlös der Grünlandvarianten bezogen auf die Fläche

#### 4 Methanerträge verschiedener Maissorten

Die Mittelwerte der Erträge aus den Silagen der getesteten Maissorten zeigten einen Schwankungsbereich von 250 bis 360 L Methan/kg oTM. Die Methanerträge sind von der Verdaulichkeit der Inhaltstoffe abhängig und die Verdaulichkeit korreliert mit dem TS-Gehalt der Ganzpflanze und des Kolbens. Wie in Abbildung 4 erkennbar ist, haben die verschiedenen Sorten, unabhängig vom Saattermin, für maximale Methanerträge im Kolben verschiedene optimale TS-Gehalte. Bei der Sorte Gavott zeigte sich ein optimaler TS-Gehalt im Kolben zwischen 54 und 61 %, bei der Sorte Hybride 89 zwischen 28 und 48 % und bei der Sorte KXA zwischen 45 und 56 % (Abbildung 4).

Im Vergleich mit den Methanerträgen zeigten die Trockenmasseerträge eine klare Differenz zwischen beiden Saatterminen. Die Erträge der April-Saattermine schwankten zwischen 194 und 240 dt TM/ha und die von den Mai-Saatterminen zwischen 144 und 214 dt TM/ha (Abbildung 5).

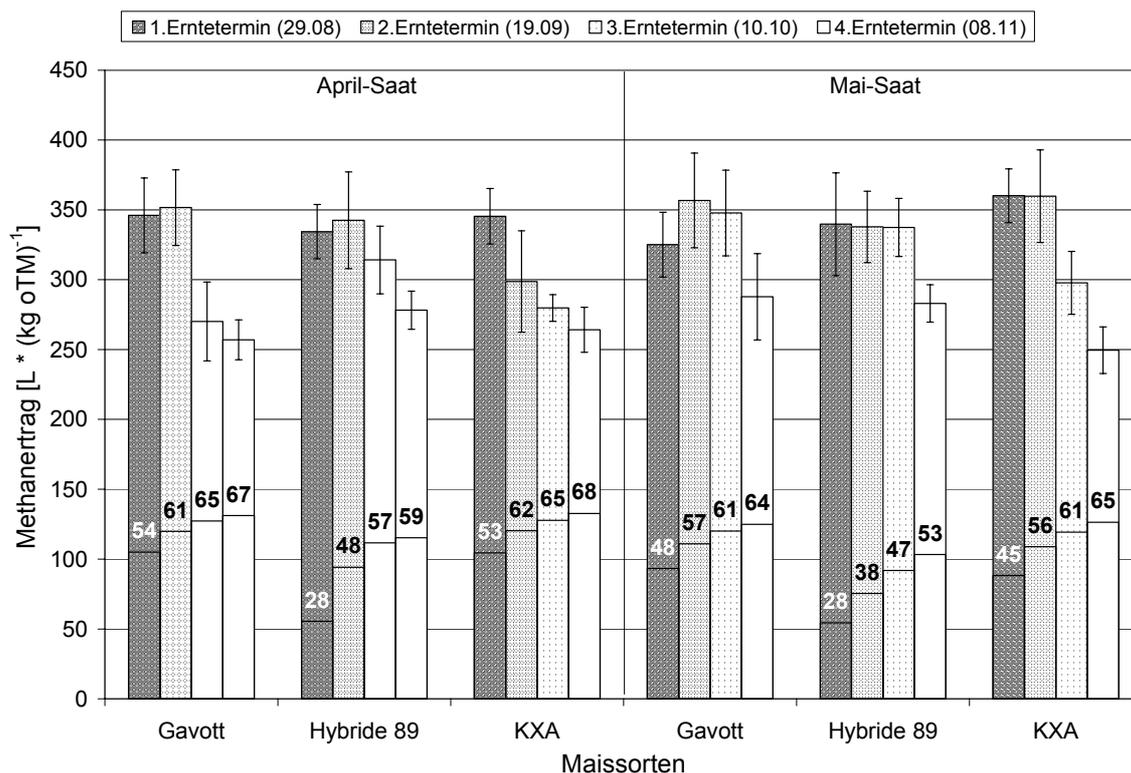


Abb. 4: Methanertrag verschiedener Maissorten bezogen auf die organische Trockenmasse (Ziffern in den Säulen bezeichnen den TS-Gehalt von Kolben)

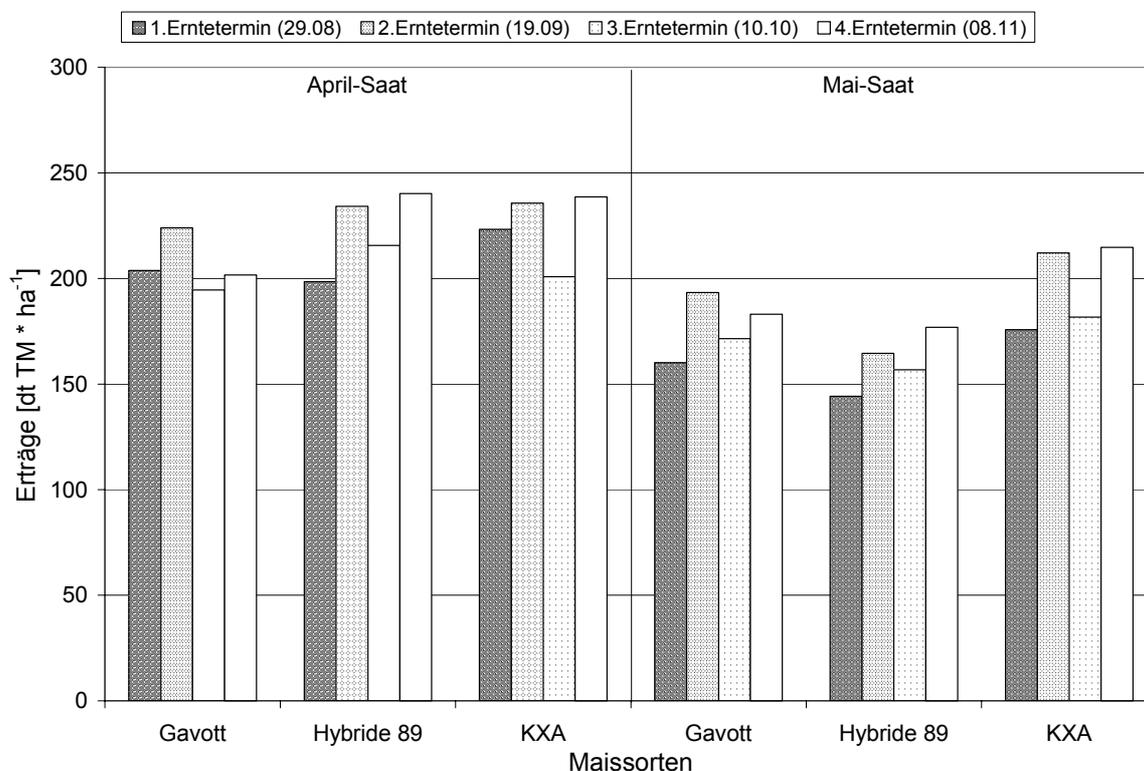


Abb. 5: Trockenmasseertrag verschiedener Maissorten

Werden die Methanerträge mit den flächenbezogenen Trockenmasseerträgen kombiniert, so zeigt sich, dass der TM-Ertrag eine bedeutendere Rolle spielt als die Methanerträge je kg oTM (Abbildung 6). Die Methanerträge schwankten je nach Sorte, Saat- und Erntetermin zwischen ca. 5.000 und 7.500 m<sup>3</sup>/ha (d.h. 50 % Ertragsunterschied). Gleiches gilt für die potenziellen Stromerlöse/ha, sie schwankten zwischen 3.000 und 4.500 €/ha.

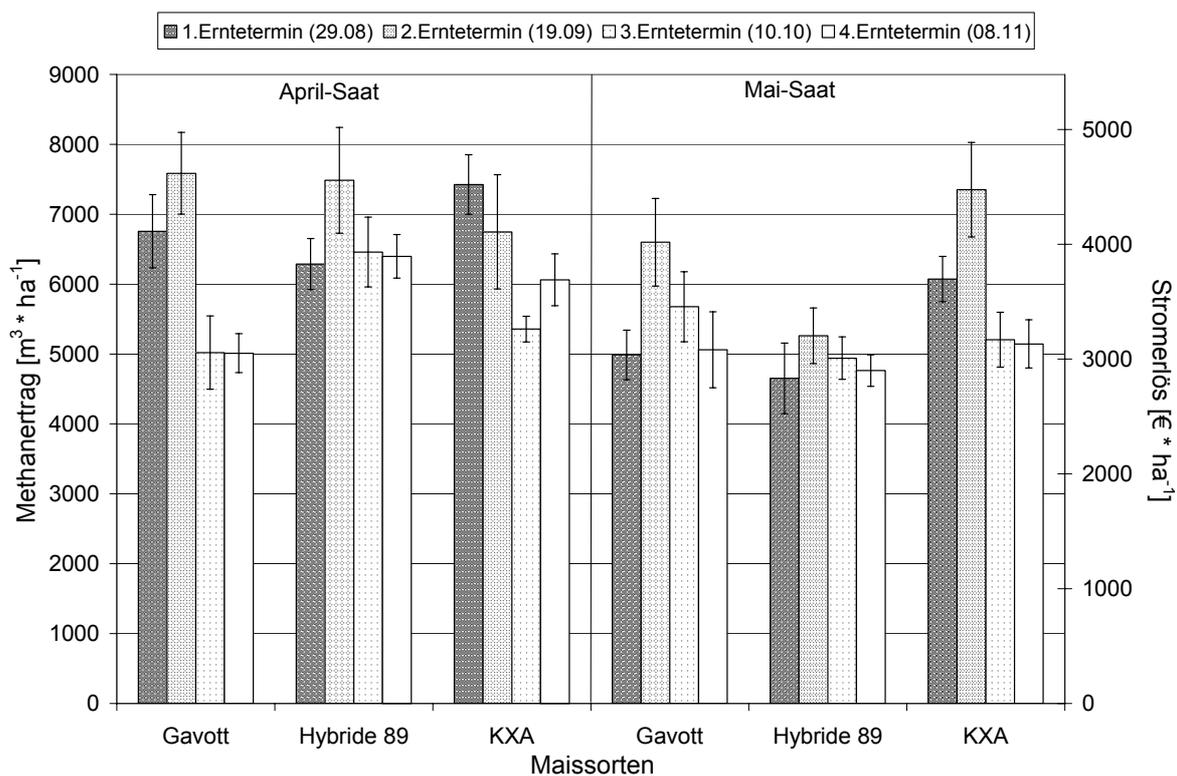


Abb. 6: Flächenbezogener Methanertrag und Stromerlös verschiedener Maissorten

#### 4.1 Methanerträge verschiedener Gräser und Leguminosen

Die zusammenfassende Darstellung der Methanerträge der Gräser und Leguminosen, die bisher getestet wurden, zeigt folgende Ergebnisse.

Die Gräser- und Leguminosenvarianten, die aus verschiedenen Orten aus Bayern kamen, zeigten Mittelwerte im Methanertrag aus Frischmaterial von 228 bis 378 L Methan/kg oTM für den ersten Schnitt. Die Proben vom zweiten Schnitt ergaben Werte zwischen 287 und 330 L Methan/kg oTM (Abbildung 7).

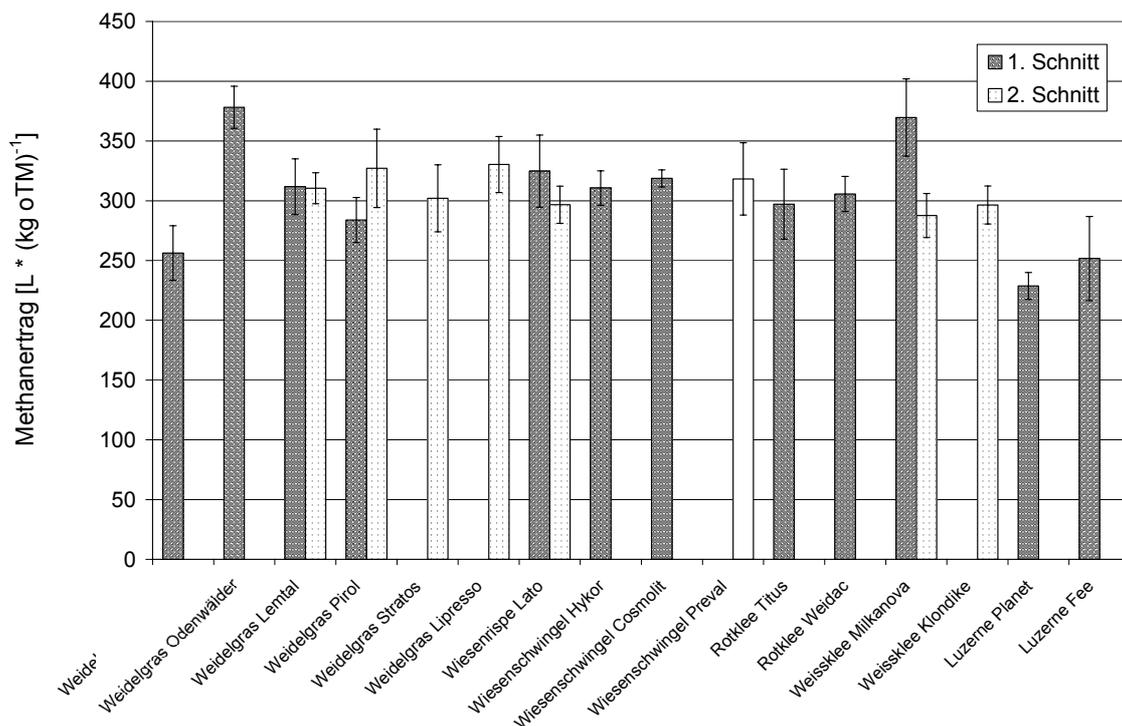


Abb. 7: Methanertrag der Gräservarianten bezogen auf die organische Trockenmasse

Die Weidelgräser zeigten im Vergleich mit Wiesensrispe und Wiesenschwingel einen größeren Schwankungsbereich beim ersten als beim zweiten Schnitt. Die Leguminosen lagen auf dem Niveau der Gräser, nicht aber die Luzerne, die einen niedrigeren Methanertrag hatte.

#### 4.2 Methanerträge andere NaWaRos

Die Ergebnisse der Vergärung anderer nachwachsender Rohstoffe sind in der Abbildung 8 dargestellt. Im Mittel lagen die Erträge aus den Frischproben und Silagen zwischen 160 bis 344 L Methan/kg oTM. Werden diese Erträge wieder mit den Trockenmasseerträgen der verschiedenen Varianten (Abbildung 9) verknüpft, so ergibt sich – genau wie beim Mais –, dass der Trockenmasseertrag pro Hektar die entscheidende Rolle spielt (Abbildung 10). Der Methanertrag je ha schwankte demnach zwischen 1.000 und 5.000 m<sup>3</sup>/ha.

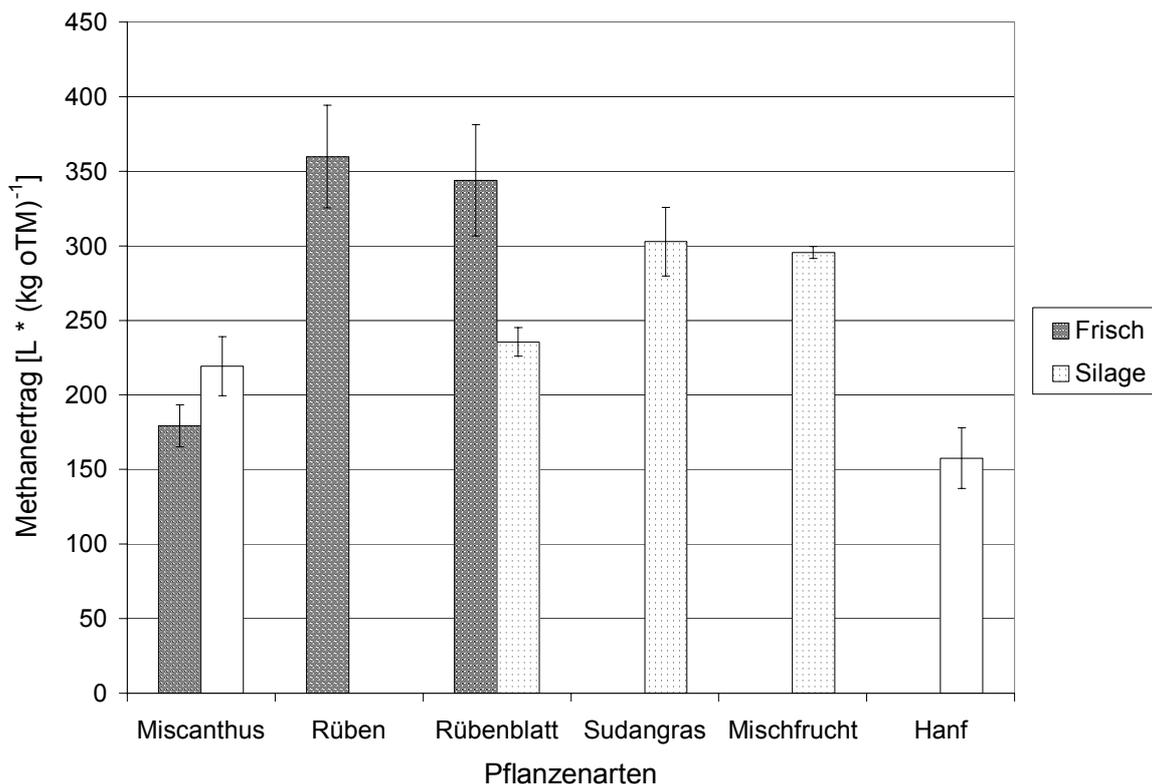


Abb. 8: Methanertrag weiterer nachwachsender Rohstoffe bezogen auf die organische Trockenmasse

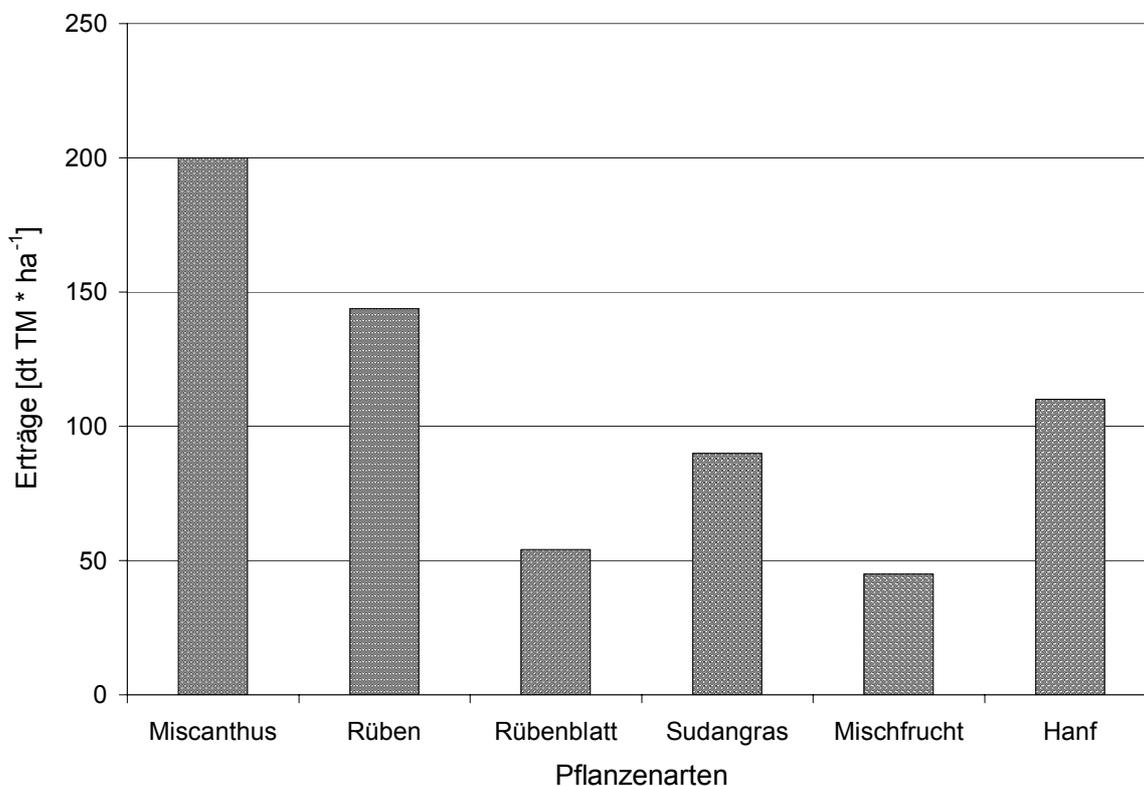


Abb. 9: Trockenmasseertrag weiterer nachwachsender Rohstoffe

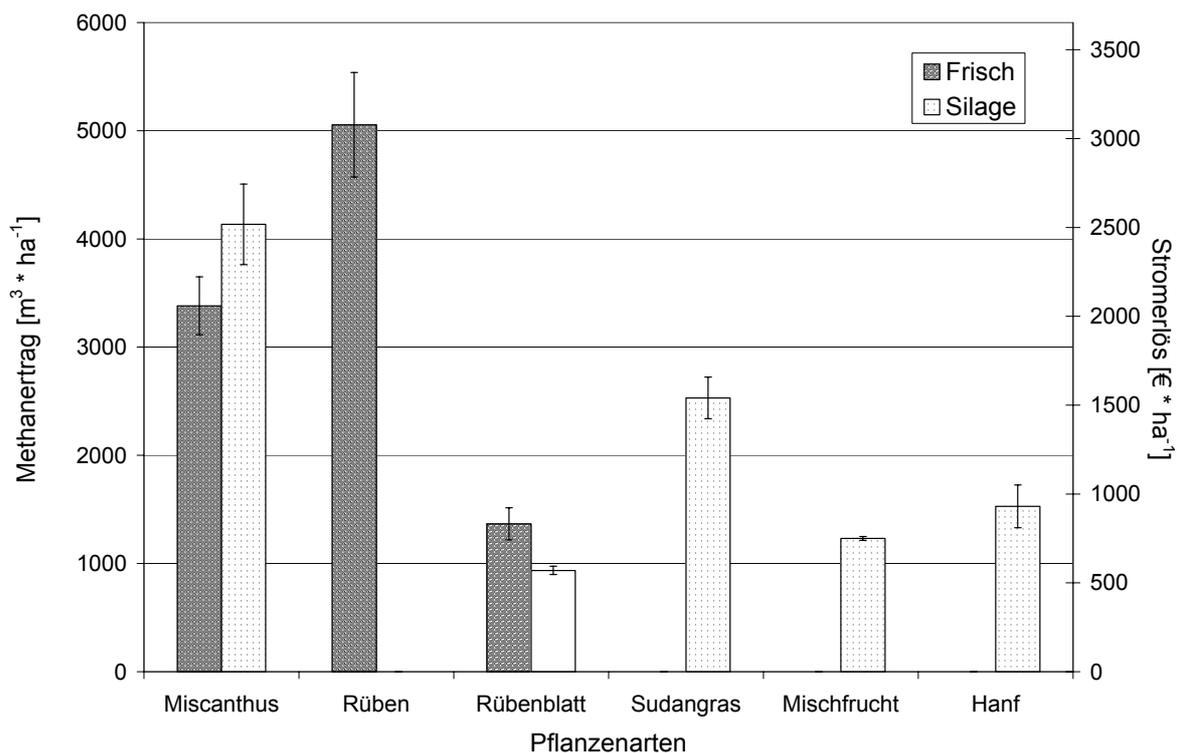


Abb. 10: Methanertrag und Stromerlös weiterer nachwachsender Rohstoffe bezogen auf die Fläche

Der potenzielle Stromerlös je Hektar Anbaufläche ist für die anderen untersuchten NaWaRo in Abbildung 11 dargestellt. Die große Streubreite zwischen 570 und 3.000 €/ha verdeutlicht das große unterschiedliche Potenzial.

## 5 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen

Die verschiedenen Substrate mit den entsprechenden Stromerlösen sind in Abbildung 11 zusammenfassend gegenübergestellt. Folgende Erkenntnisse können aus den bisherigen Ergebnissen gezogen werden:

1. Die Gesamtproduktivität je ha schwankt in einem sehr großen Bereich.
2. Silomais hat mit bis zu 7.000 m³/ha den absolut höchsten Methanertrag. Selbst die niedrigsten Silomaismethanerträge erreichen das Niveau der besten Varianten der anderen Substrate.
3. Die Unterschiede beim Grünland können bis zum Vierfachen betragen.
4. Rüben haben nach dem Mais das zweit größte Methanertragspotenzial.
5. Die Methanerträge von Miscanthus und Sudangras liegen in etwa auf dem Niveau von Grünland im Alpenvorland.
6. Der Trockenmasseertrag je ha spielt für die Gesamtproduktivität eine größere Rolle als der Methanertrag je kg oTM.

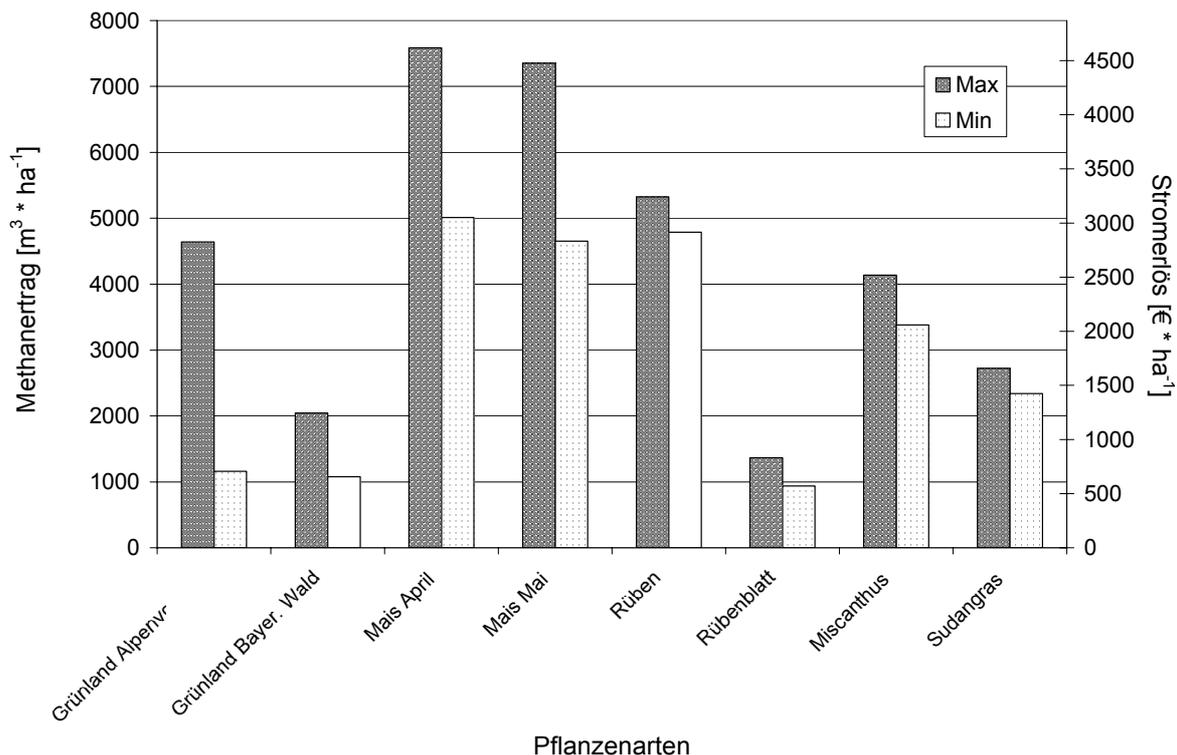


Abb. 11: Vergleich des flächenbezogenen Methanertrags und Stromerlöses verschiedener nachwachsender Rohstoffe

Bisher wurde in den Versuchsfermentern die Methanproduktivität verschiedener Grünlandstandorte, Maissorten, Gräserarten und sonstiger nachwachsender Rohstoffe ermittelt und mit den Flächenerträgen zum potenziellen Stromerlös je ha Anbaufläche verrechnet.

Im weiteren Projektverlauf werden mit den Ergebnissen der Inhaltsstoffanalysen (Futtermittelanalysen) Korrelationen zwischen den ermittelten Methanerträgen und den entsprechenden Inhaltsstoffen der Substrate gebildet, um ein EDV-Expertensystem zu programmieren, das Mischrationen für Biogasanlagen optimieren kann. Diese Software soll Ende 2005 Biogasanlagenbetreibern und Beratern zur Verfügung stehen.

## **Literaturverzeichnis**

AMON, T. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., REINHOLD, G., OECHSNER, H., SCHWAB, M., WEILAND, P. und B. LINKE (2004): Biogaserträge von Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern – Laborversuche. Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL-Tagung in Osnabrück 2004. S. 46-61.

BASERGA U. (2000): Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. FAT-Berichte 546/2000, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT): Tänikon, 2000.

EFFENBERGER, M., KAISER, F., SCHLATTMANN, M. und A. GRONAUER (2003): Biogasanlagen-Monitoring und Emissionsverhalten von Biogas-Blockheizkraftwerken. Endbericht Februar 2003. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Arbeitsgruppe Umwelttechnik der Landnutzung: Freising 2003.

GRONAUER, A., EFFENBERGER, M., KAISER, F., KISSEL, R. und M. SPECKMAIER (2002): Verfahrenstechnik und Bewertung der Biogaserzeugung im landwirtschaftlichen Betrieb. In: Biogas International 2002, Tagungsband: Berlin 2002.

LINKE, B., K. BAGANZ und R. SCHLAUDERER (1999): Nutzung von Feldfrüchten zur Biogasegewinnung. Agrartechnische Forschung 5 (1999) H.2, S. 82-90.

MÄHNERT, P., M. HEIERMANN, M. PLÖCHL, H. SCHELLE und B. LINKE (2002): Verwertungsalternativen für Grünlandbestände – Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung. Landtechnik 57 H.5, S. 260-261.

MAURITZ, S. (1992). Der Einfluß verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Minderung der Silierversuche von Futterrüben. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG). Dissertation.

OECHSNER, H., LEMMER, A. und C. NEUBERG (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. Landtechnik 58, H.3, S. 146-147.

ZAUNER, E. und U. KÜNTZEL (1986): Methane production from ensiled plant material. Biomass 10: S. 207-223.



## Aktueller Stand der Umsetzung des EEG

Dr. Claudius da Costa Gomez, Fachverband Biogas, Freising

### 1 Möglichkeiten und Grenzen für die Biogasbranche

Nach mehr als zwei Jahren intensiver Überzeugungsarbeit ist es gelungen, eine kostendeckende Vergütung für die Nutzung von Energiepflanzen im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) festzuschreiben. Damit hat die Bundesregierung die Grundlage für eine weitreichende Veränderung in der landwirtschaftlichen Produktion geschaffen. Als klares Anzeichen für den beginnenden Boom ist die explosionsartig gestiegene Nachfrage nach Informationen zum Thema Biogas zu sehen.

Gleichzeitig wirft die EEG Novelle eine ganze Reihe von Fragen zur Umsetzung der im Gesetz festgeschriebenen Regelungen auf. Doch bei allen aktuellen Problemen mit dem EEG muss der Blick auch in die nahe und ferne Zukunft geworfen werden. Schon in der Bundestagsdebatte zur Novelle am 2. April hat die CDU/CSU Fraktion die Frage aufgeworfen, wie die Fördermechanismen für erneuerbare Energien ab 2007 aussehen sollen. Der vorliegende Beitrag gibt einige Antworten zu den offenen Fragen.

Land auf Land ab finden zahlreiche Biogas-Veranstaltungen statt. Und jeder, der in der Ankündigung seiner Versammlung das Wort Biogas einbaut, kann sich einer Zuhörerschaft von mindestens 100 Personen sicher sein. Eine Umfrage des Agrarmagazins top Agrar hatte schon Anfang 2003 ergeben, dass 82 Prozent aller befragten Landwirte sich schon einmal mit dem Thema Biogas auseinandergesetzt haben. Jetzt, wo die Vergärung nachwachsender Rohstoffe mit zusätzlichen sechs Cent pro Kilowattstunde eingespeisten Strom (siehe Tabelle 1) vergütet wird, steigen viele Landwirte in die Biogas Nutzung ein.

Tab.1: Vergütungssätze für Strom aus Biomasse gemäß § 8 Erneuerbares Energien Gesetz (EEG)

		< 150 kW <sub>el</sub>	< 500 kW <sub>el</sub>	< 5 MW <sub>el</sub>	> 5 MW <sub>el</sub>
Grundvergütung Ct/kWh	Alt-Anlagen	wie bisher			
	Neu-Anlagen	11,5	9,9	8,9	8,4
NawaRo-Bonus Ct/kWh	Alt-Anlagen	6	6	4	-
	Neu-Anlagen	6	6	4	-
KWK-Bonus Ct/kWh	Alt-Anlagen	-	-	-	-
	Neu-Anlagen	2	2	2	2
Technologie-Bonus Ct/kWh	Alt-Anlagen	-	-	-	-
	Neu-Anlagen	2	2	2	-

Der Fachverband Biogas e.V. hatte immer wieder vorgerechnet, dass diese sechs Cent notwendig sind, um in vielen Fällen Energiepflanzen kostendeckend zu produzieren und zu vergären. Vielen Landwirten bietet sich nun die Möglichkeit, einen neuen Produktionszweig zu etablieren oder die bestehende Biogasanlage ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen zu füttern.

## **2 Biogasnutzung braucht landwirtschaftliche Fachkenntnis**

Wo in den letzten beiden Jahren viele potenzielle Betreiber sehr vorsichtig waren und in Erwartung besserer Voraussetzungen ihr Projekt nicht realisiert haben, scheinen jetzt viele Projekte geradezu euphorisch hochgejubelt und -gerechnet zu werden. Dass eine Biogasanlage aber nicht auf der einen Seite an das Hochsilo und auf der anderen Seite an die Steckdose anzuschließen ist und der Landwirt dann nur noch den Zahlungseingang vom Energieversorger zu beobachten hat, wird gelegentlich vergessen. Der Betrieb einer Biogasanlage erfordert neben der Investitionsbereitschaft auch noch Fachkenntnisse im Pflanzenbau, bei der Wiederkäuer- und Bakterienernährung, in der Anlagentechnik und der Düngung. Der Betreiber muss sich im Klaren sein, dass seine Anlage 365 Tage im Jahr betreut werden muss. Dem ein oder anderen mag dies als Nachteil erscheinen, aber ist es wirklich ein Nachteil, dass für die Biogasnutzung landwirtschaftliche Fachleute gebraucht werden, die die Anlage die nächsten 20 Jahre betreuen?

Eben diese landwirtschaftlichen Fachkräfte müssen heute die richtigen Entscheidungen treffen. Und dabei sollten die Kenntnisse aus den klassischen Betriebszweigen genutzt werden. Jeder potenzielle Biogasanlagenbetreiber muss sich also Fragen: Habe ich genügend Kenntnisse, um meine Bakterien zu füttern? Reichen meine Arbeitszeitkapazitäten? Kann ich genügend Energiepflanzen produzieren oder zu günstigen Konditionen langfristig zukaufen? Wo bringe ich meinen Gärrest aus und wie verändern sich meine Nährstoffbilanzen? Welche Referenzanlagen meines Planers/Herstellers habe ich gesehen? Jeder Biogasanlagenbetreiber weiß, dass eine Biogasanlage lebt und gerade in der Bau- und Anlaufphase besonders viel Aufmerksamkeit benötigt. All das ist keine Hexerei und kann erlernt werden, die Betreiber der bestehenden 2.000 Biogasanlagen haben dies bewiesen.

## **3 Umsetzungsfragen zum EEG**

Schon vor in Kraft treten des EEG häuften sich die Fragen, wie die einzelnen Regelungen umgesetzt werden sollen. Der Juristische Beirat im Fachverband Biogas hat sich diesen Fragen angenommen und bereits in der letzten Ausgabe des Biogas Journals dargestellt, als Rechtsanwalt Andreas Schäfermeyer die bis dahin beantworteten Fragen in einem Beitrag zusammengefasst hat. In der

Zwischenzeit sind einige Fragen hinzugekommen. Nachfolgend finden Sie Antworten auf einige der Fragen, die derzeit häufig gestellt werden.

### **3.1 Zukauf von Biomasse nur von Erzeugungsbetrieben**

Jede Planung einer Biogasanlage beginnt mit den zur Verfügung stehenden Substratmengen. Biomasse, die auf den eigenen Flächen angebaut wird, und Gülle sind dabei in der Regel die Grundsubstrate. Außerdem wird oft über den Zukauf von Energiepflanzen nachgedacht. Das EEG hat im Gesetzestext in § 8 Absatz 2 eine Formulierung vorgesehen, aus der relativ klar hervorgeht, was der Gesetzgeber mit der Bonusvergütung von sechs Cent je Kilowattstunde vergütet sehen will: *„Pflanzen und Pflanzenbestandteile, die in landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege anfallen und die keiner weiteren als der zur Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.“*

Der potenzielle Biogasanlagenbetreiber kann also überlegen, ob er weitere Biomasse – zum Beispiel Silagen aus Gras, Mais, Getreideganzpflanzen oder Zwischenfrüchte – auf gepachteten Flächen anbauen oder zukaufen kann. Beim Zukauf ist jedoch Vorsicht geboten: Es muss in jedem Fall sichergestellt sein, dass die NawaRo kein Abfall sind und keiner weiteren Verarbeitung als zur Ernte und Lagerung in der Biogasanlage unterzogen wurden. Nach der derzeitigen Interpretation des Fachverbandes Biogas e.V. können die Substrate gereinigt werden, um die Lagerfähigkeit sicher zu stellen (z.B. Getreidereinigung). Ein Sortieren nach Größe wäre jedoch nicht zulässig (z.B. Kartoffeln), da dies für die Verarbeitung in der Biogasanlage nicht notwendig ist. Aktuelle Definitionen, die jedoch nicht rechtsverbindlich sein können, veröffentlicht der Fachverband Biogas e.V. regelmäßig im Biogas Journal und auf seiner Internetseite ([www.biogas.org](http://www.biogas.org)). Dort ist auch eine Liste mit Stoffen, die nach der Meinung des Fachverbandes Biogas zum Bezug des NawaRo-Bonus berechtigen, zu finden. Diese Liste ist ebenfalls nicht rechtsverbindlich, bisher äußerten jedoch weder Vertreter des Bundesumweltministeriums noch Vertreter der Energieversorger Zweifel an der Rechtskonformität dieser Liste.

### **3.2 Nährstoffbilanz im Auge behalten**

In vielen Anfragen wird deutlich, dass Anlagenbetreiber und auch Anbieter Biogasanlagenkonzepte planen, in denen ein sehr hoher Anteil an externem Biomasseinput vorgesehen wird. Hierbei ist zu beachten, dass insbesondere beim Einsatz von Biomasse mit einer hohen Energiekonzentration (zum Beispiel Getreidekörnern) auch sehr viel Stickstoff in die Anlage gefahren wird. Da der Stickstoff in Biogasanlagen nicht abgebaut wird, kann er zur Hemmung des Gärprozesses führen. Insbesondere wenn die Biogasanlage ohne den Einsatz von Gülle betrieben werden soll und der Gärrest regelmäßig wieder in den Fermenter eingebracht

wird, kann sich diese Tatsache zu einem größeren Problem auswachsen. Aber auch, wenn der Gärrest ausgebracht wird, muss eines berücksichtigt werden: Die in der Novellierung befindliche Düngeverordnung begrenzt die Menge des im Gärrest auszubringenden Stickstoffs – wie bei den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft – stark. In den derzeit in der Diskussion befindlichen Entwürfen sind Grenzwerte von 170 Kilogramm Stickstoff je Hektar auch für organische Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel vorgesehen. Der Fachverband Biogas hat in seiner Stellungnahme zum Düngeverordnungsentwurf der Bundesregierung gefordert, den speziellen Gegebenheiten der Biogastechnologie Rechnung zu tragen und aktuelle, durch das EEG bedingte Entwicklungen, zu berücksichtigen. Eine Regelung ist vor Ende 2005 allerdings nicht zu erwarten.

### **3.3 Was ändert sich für Altanlagen?**

Biogasanlagen, die vor dem 1. Januar 2004 in Betrieb gegangen sind, gelten im Sinne des EEG als Altanlagen. Sie bekommen – sofern sie die Bedingungen nach § 8 Absatz 2 EEG erfüllen – den NawaRo-Bonus. Leider ist es trotz intensiver Gespräche im Vorfeld der EEG Novelle nicht gelungen, auch den bereits bestehenden Anlagen eine Vergütung für die Nutzung von Wärme (KWK-Bonus) oder den Einsatz innovativer Technologien (Innovationsbonus) zu ermöglichen. Für viele bestehende Anlagen ist es nun interessant, durch eine Erweiterung ihrer Anlage gemäß § 3 Absatz 4 eine Neuanlage zu werden. Hier sieht der Gesetzgeber vor, dass eine bestehende Anlage *„nach ihrer Erneuerung, sofern die Kosten der Erneuerung mindestens 50 Prozent der Kosten einer Neuherstellung der gesamten Anlage einschließlich sämtlicher technisch für den Betrieb erforderlicher Einrichtungen und baulicher Anlagen betragen“*, als Neuanlage im Sinne des EEG einzustufen ist. Abbildung 1 zeigt, wie der schematische Ablauf für die Überlegungen, ob eine Altanlage zur Neuanlage wird, nach Ansicht des Fachverbandes Biogas auszusehen hat. Die Formulierung „Kosten einer Neuherstellung der gesamten Anlage“ lässt jedoch im Unklaren, wie denn die tatsächliche Höhe dieser Kosten ermittelt werden kann. Die Regionalgruppe Niederbayern ist in dieser Sache aktiv und ermittelt derzeit, wie und nach welchen Kriterien die Kostenpositionen der Zielanlage ermittelt werden können. In jedem Fall ist davon auszugehen, dass der Nachweis über die Erneuerung gemäß § 8 Absatz 4 EEG in jedem Fall durch einen Wirtschaftsprüfer oder einen Gutachter überprüft werden muss. Sobald hier weitere Klarheit erzielt worden ist, werden die Mitglieder des Fachverbandes Biogas darüber informiert.

Wie wird eine Altanlage eine Neuanlage (Quelle Fachverband Biogas e.V.)

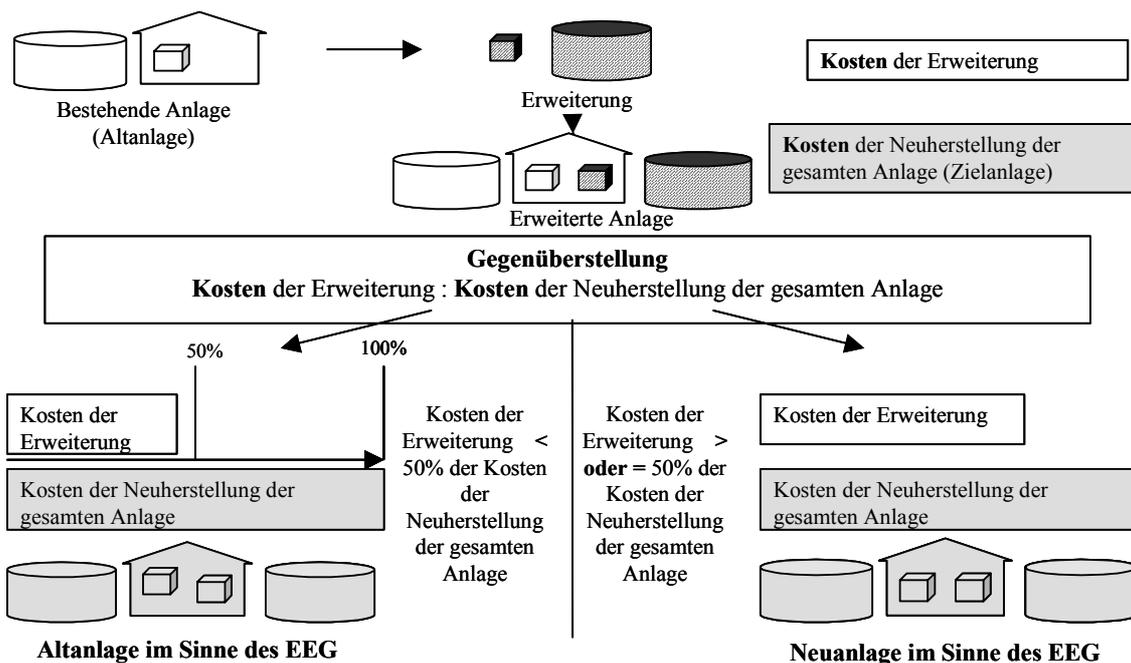


Abb. 1: „Inbetriebnahme nach Erneuerung“ (Neuanlage durch Erweiterung) § 3 (4) EEG (Quelle: Fachverband Biogas e.V.)

Unklarheit herrschte zunächst über die Frage, ob für bestehende Anlagen auch die in § 12 Absatz 2 EEG veränderte Grundlage der Leistungsschwellenwerte Anwendung findet. Nach Ansicht des Juristischen Beirates gelten alle außer die in § 21 explizit ausgenommenen Regelungen auch für Altanlagen, da die EEG Novelle das EEG in seiner Fassung vom 29. März 2000 ablöst. Die Änderung der Leistungsdefinition wird vor allem für Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als 500 Kilowattstunden wichtig sein, da diese nun in jedem Fall für die ersten (500kW x 8.760Jahrestunden=) 4.380.000 eingespeisten Kilowattstunden die Vergütung für die installierte Leistung bis 500 Kilowatt (kW) erhalten. Jede weitere im jeweiligen Kalenderjahr eingespeiste Kilowattstunde wird dann erst mit der Vergütung oberhalb von 500 kW vergütet. Anlagenbetreiber sollten bei ihren Stromabrechnungen darauf achten, dass ihr abnehmender Netzbetreiber seine Abrechnung entsprechend umgestellt hat.

### 3.4 Wie weist der Anlagenbetreiber die Konformität seiner Anlage nach?

Schon vor der EEG Novelle verlangten einige Netzbetreiber so genannte Konformitätstestate, in denen einmal nachgewiesen werden sollte, dass die Biomasseanlage nach dem im EEG geforderten Ausschließlichkeitsprinzip arbeitet. Als Reaktion auf die Beanspruchung des NawaRo-Bonus durch Biogasanlagenbetreiber wollten sich einige Netzbetreiber per Unterschrift bestätigen lassen,

dass der Anlagenbetreiber regelmäßig ein so genanntes Ausschließlichkeitstestat auf eigene Kosten beizubringen hat. Der Fachverband Biogas hat daraufhin seine Mitglieder und die jeweiligen Netzbetreiber darauf hingewiesen, dass es keine gesetzliche Grundlage für diese Forderung gibt. Das EEG legt in § 8 Absatz 2 Ziffer 2 eindeutig fest, dass der Nachweis durch die Genehmigung beziehungsweise ein Einsatzstoff-Tagebuch zu erbringen ist. Einige Netzbetreiber haben gegenüber dem Fachverband bereits angekündigt, dass sie Ihre Forderung nach einem Testat nicht aufrechterhalten werden. Aus unserer Sicht ist gegen ein Testat oder Gutachten grundsätzlich nichts einzuwenden – allerdings müssen die Kosten dann vom Netzbetreiber übernommen werden. Lediglich im Fall einer gerichtlichen Auseinandersetzung wird der Anlagenbetreiber unter Umständen gezwungen sein, selbst durch einen Gutachter die Konformität seiner Einsatzstoffe nachzuweisen. Bei ordnungsgemäß geführten Einsatzstofftagebüchern dürfte dies jedoch kein Problem darstellen.

Neben den internen Diskussionen darüber, was NawaRo im Sinne des § 8 Absatz 2 EEG ist oder der Frage, wann eine Altanlage zur Neuanlage wird, hat es in den letzten Monaten eine Reihe von direkten Gesprächen zwischen Vertretern des Fachverbandes Biogas und Vertretern der Netzbetreiber gegeben. Darin konnten eine Reihe von Fragen zur Umsetzung des neuen EEG geklärt werden. Es ist auch deutlich geworden, dass es für die Netzbetreiber in aller Regel nicht nur darum gehen kann, das EEG auszubremsen. Man muss sich aufgrund der Vielzahl neuer Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung auch darauf konzentrieren, praktikable Wege zu finden, die gesetzlichen Vorschriften sachgerecht umzusetzen. Dabei sind die Vertreter der Energiewirtschaft oft froh, wenn es klare, nachvollziehbare und einfach umsetzbare Möglichkeiten gibt, den Willen des Gesetzgebers zu erfüllen. Deshalb ist die Branche gefordert, jetzt Wege aufzuzeigen. Erste erfolgreiche Beispiele für solche Lösungsvorschläge ist die Stoffliste des Fachverbandes Biogas, auf die sowohl von Vertretern der Ministerien als auch der Energiewirtschaft regelmäßig verwiesen wird, ebenso der Vorschlag zur Umsetzung des KWK Bonus nach § 8 Absatz 3. Auch für den Vorschlag zur „Neuanlagenregelung“ gemäß § 3 Absatz 4 hoffen die Vertreter des Fachverbandes eine praktikable und langfristig sinnvoll umsetzbare Lösung zu finden.

Die Gespräche der letzten Wochen haben gezeigt, dass ein Dialog mit den Energieversorgern möglich und von beiden Seiten gewollt ist. Die Zukunft der Biogasnutzung wird auch in hohem Maße davon abhängen, ob wir heute mit den Stromversorgern und morgen auch mit den Gasversorgern einen Dialog führen, der uns Partner werden lässt. Nur wenn wir langfristig ein Produkt liefern können, das in Qualität und (Vollkosten-) Preis mit anderen Energiequellen mithalten kann, wird die Biogaserzeugung auch langfristig eine Einkommensquelle für die Landwirtschaft sein.

# Erfolgreiche Praxisbeispiele aus der Beratung

Daniel Endres, Landwirtschaftsamt, Traunstein

## 1 Einleitung

Es gibt viele Landwirte, die seit geraumer Zeit nach einem neuen Weg suchen, alle oder einen Teil ihrer Flächen ohne Viehhaltung sinnvoll zu nutzen. Es gibt verschiedenste Gründe hierfür. Oft stehen große Investitionen in Stallanlagen bzw. Stalltechnik an, die auch die nachfolgende Generation an die Viehhaltung binden würden. Im Prinzip heißt das, viel Arbeit, viel Fremdkapital und das bei einer ungewissen Preisentwicklung in der Zukunft. So mancher Betriebsleiter möchte aus diesen Gründen lieber heute als morgen die Tierhaltung aufgeben.

Häufig sieht jedoch der potentielle Hofnachfolger, der ausschließlich Interesse an einem viehlosen aber dennoch lukrativen Betriebsablauf zeigt, die Lösung in einer Biogasanlage.

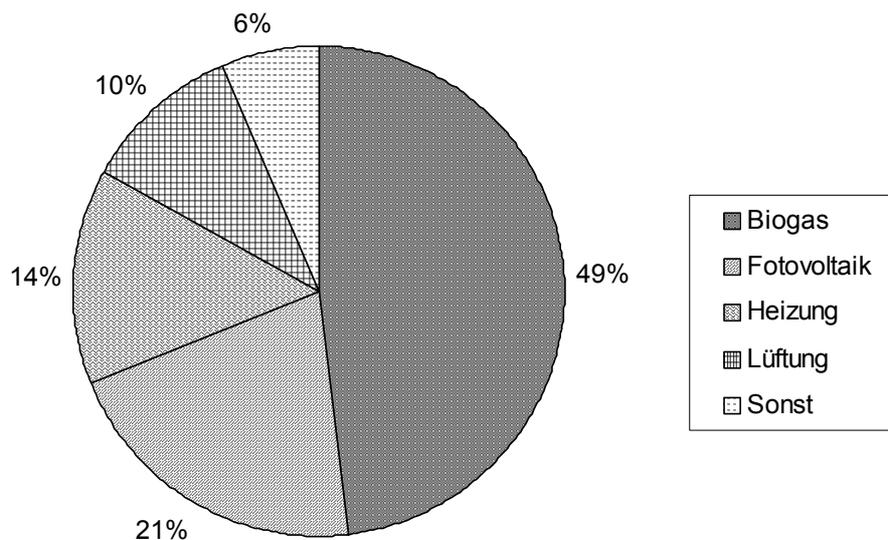


Abb. 1: Landtechnische Beratungsschwerpunkte 2004 in den Landkreisen Traunstein, Rosenheim und Berchtesgadener Land

Insbesondere der verbesserte Einspeisetarif mit seiner langfristigen Planungssicherheit und die verlockende Förderung über das AFP machten Biogas im Jahre 2004 zum Schwerpunkt der Landtechnikberatung.

Derzeit gibt es in den Landkreisen Traunstein, Rosenheim und Berchtesgadener Land ca. 73 Biogasanlagen. Von diesen 73 Biogasanlagen erweitern rund 30 %. Im Allgemeinen werden ein Nachgärer und ein weiteres Blockheizkraftwerk angeschafft. Zahlreiche Betriebsleiter müssen Gebäude und Technik den aktuellen

Auflagen der Berufsgenossenschaft anpassen, was meist mit hohen Kosten verbunden ist. Rund 20 komplett neue Anlagen sind derzeit im Bau, Tendenz steigend.

## 2 Biogas als Produktionszweig

### 2.1 Betrieb 1

Der erste Beispielsbetrieb liegt im nordwestlichen Bereich des Landkreises Traunstein. Neben 31 Milchkühen werden noch 610 Mastschweine gehalten. Die Flächenausstattung teilt sich in 65 ha Ackerland und 7,5 ha Grünland auf. Derzeit werden mit dem 495 m<sup>3</sup> Gärraum im Schnitt 66 kW eingespeist.



Abb. 2: Biogasanlage mit selbstgebauter Einspeisetechnik

Bei der aktuellen Kombination von Einbringstoffen und einer Verweildauer von 45 Tagen bildet sich des Öfteren eine massive Schwimmdecke im Endlager. Die Erweiterung der Biogasanlage ist bereits geplant. Ein Nachgärer mit Rührwerk soll der Schwimmdeckenbildung entgegenwirken und gleichzeitig eine bessere Gasausbeute ermöglichen. Die Anschaffung eines zweiten Blockheizkraftwerkes wird die Einspeiseleistung erhöhen, denn künftig werden weitere 5 ha an nachwachsenden Rohstoffen mitvergoren.

### 2.2 Betrieb 2

Auf dem Betrieb Nr. 2 werden 60 Milchkühe gehalten. Neben der Rindergülle werden rund 12 ha Silage mitvergoren. Als außerlandwirtschaftliches Koferment brachte der Landwirt bis vor kurzem noch 100 t/Jahr Ausschussschokolade (unverpackte Mozartkugeln) mit ein. Um den Bonus für nachwachsende Rohstoffe zu

erhalten, wird der Betriebsleiter jedoch zukünftig auf die Schokoladenentsorgung verzichten und dafür mehr Silomais vergären. Rund 30 ha Ackerfläche, bisher mit Körnermais angebaut, sollen eine Einspeiseleistung von 100 kW<sub>el.</sub> ermöglichen.



Abb. 3: Betrieb 2 mit Prototyp von UTS Einspeisetechnik

Damit dies in der Praxis funktioniert, wird die Anlage mit einem 600 m<sup>3</sup> Fermenter um einen weiteren Fermenter bzw. Nachgärer und ein leistungsfähigeres Blockheizkraftwerk erweitert.



Abb. 4 + 5: Nutzung der Abwärme für die Wagentrocknung von Hackschnitzeln. Im Sommer wird die überschüssige Abwärme zur Hackschnitzeltrocknung genutzt.

Des Weiteren werden das Wohnhaus und verschiedene Nutzgebäude mit der Abwärme versorgt. Rund 300 m von der Biogasanlage entfernt befindet sich die Kläranlage der Ortschaft. In Zukunft soll die überschüssige Abwärme zur Klärschlamm-trocknung herangezogen werden.



Abb. 6: Schwimmdeckenproblematik im Endlager

### 3 Biogas als einziges Standbein

Insbesondere Bullenmäster, welche in den nächsten Jahren aufgrund der Agrarreform ihre Tierprämien auch ohne tierische Produktion erhalten, sehen im Bau einer Biogasanlage eine Chance ihre Fläche sinnvoll zu veredeln. Im Folgenden sind Bilder von zwei im Bau befindlichen 150 kW Anlagen abgebildet. Beide Anlagen haben ca. 2000 m<sup>3</sup> Gärraum. Fermenter, Nachgärer, Aggregatehaus und Siloflächen wurden komplett neu erstellt. Beide Anlagen werden nur auf der Basis nachwachsender Rohstoffe betrieben.

Es muss jedoch eines klar sein, ohne den Einsatz von Gülle werden sehr hohe Anforderungen an die Fähigkeiten und das Engagement des Anlagenbetreibers gestellt.



Abb. 7 + 8: Siloplatte mit nachwachsenden Rohstoffen

Der Trend zu sogenannten Naturabdeckungen macht sich besonders bei den größeren Biogasanlagen bemerkbar. Diese Abdeckung besteht meist aus Roggen oder einer anderen Wintersaat. Die Zukunft wird zeigen ob die Einsparungen an Arbeitszeit und Silofolie ausreichen, um den entgangenen Gasertrag bedingt durch verdorbene Silage hinzunehmen.



Abb. 9: 150 kW Anlage mit Fermenter und Nachgärbehälter im Hintergrund



Abb. 10: Fermenter und Endlager „Topf in Topf“ mit 30 m Durchmesser

## **4 Fazit und Ausblick**

Es muss genau geprüft werden, ob eine Biogasanlage für den jeweiligen Betrieb sinnvoll und zweckdienlich ist. Viele Punkte müssen durchgegangen werden. Sind genügend Flächen verfügbar, kann die Kombination von Kofermenten tatsächlich so eingebracht werden, reicht die freie Arbeitszeit, schätzt der Landwirt selbst die Situation richtig ein? Es ist sehr auffällig, dass Betriebsleiter, die jetzt neu einsteigen keine Scheu vor der meist enormen Fremdkapitalbelastung, bedingt durch die hohen Anlagenkosten, zeigen. Diese meist großzügig ausgelegten Neubauten benötigen oft zusätzlich 20 bis 50 ha an Gärmaterial um die Anlagen auslasten zu können. Deshalb erreichen auch die Pachtpreise in einigen Gebieten ein ungekanntes Niveau, was für alle Landwirte mit Pachtflächen von Nachteil ist.

„Biogasler“, die seit Jahren im Geschäft sind, handeln eher verhalten. Sie investieren sehr vorsichtig und wachsen eher in kleinen Schritten. Das kommt daher, dass in der Vergangenheit mit der alten Einspeisevergütung ein sehr schmaler Grat zwischen Gewinn und Verlust lag. Heute ist zwar der Einspeisetarif besser, aber die enorme Kostensteigerung von Bauteilen bzw. Technik stehen dem massiv gegenüber.

Die Erzeugung von Strom aus Biomasse wird ohne Zweifel für zahlreiche Betriebe die Einnahmequelle der Zukunft sein. Doch Vorsicht, der durch Einspeisevergütung und Förderung ins Rollen gebrachte Biogaszug ist aufgrund der teilweise zu positiven Darstellung so schnell geworden, dass er den einen oder anderen Betrieb zu überrollen droht. Ein verantwortungsbewusster neutraler Berater sollte deshalb bei so mancher Station als Bremser fungieren, denn neu aufgesprungene Heizer gibt's genug!

# Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Ulrich Keymer, Institut für Ländliche Strukturentwicklung,  
Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München

## 1 Begriffsdefinition

Eine landwirtschaftliche Biogasanlage ist dadurch gekennzeichnet, dass neben Gülle oder Mist ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) als Substrate zum Einsatz kommen. Es geht natürlich auch ohne Gülle oder Mist. Allerdings stellen reine NawaRo-Anlagen höhere Anforderungen an den Anlagenbetreiber. Gülle hat unter anderem ein beachtliches Puffervermögen, das manchen Fehler in der Prozessführung ausgleichen kann.

Der Gesetzgeber honoriert die Beschränkung der Einsatzstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit einem Zuschlag zur Stromvergütung, dem NawaRo-Bonus. Es kann also durchaus vorteilhaft sein, sich auf Substrate aus der Landwirtschaft zu beschränken.

## 2 Tierbestandsgrößen und Flächenbedarf

Das Biogas aus der Gülle von 100 RiGV reicht nur für den Betrieb eines BHKW mit einer elektrischen Leistung von 12 - 14 kW. Diese Faustzahl macht deutlich: Mit Gülle allein lässt sich eine Biogasanlage kaum betreiben. Soll beispielsweise Maissilage kofermentiert werden, ergibt sich in Abhängigkeit von der geplanten Anlagenleistung und dem Gülleanteil ein ganz erheblicher Flächenbedarf (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Tierbestandsgröße und Flächenbedarf

Masseanteil Gülle		75%		50%		25%	
BHKW <sup>1)</sup>		RiGV <sup>2)</sup>	SM <sup>3)</sup>	RiGV	SM	RiGV	SM
KW	$\eta_{el}$	Anzahl	ha	Anzahl	ha	Anzahl	ha
100	32 %	208	31	85	38	31	41
150	33 %	302	45	124	55	45	59

1) Zündölanteil: 10 % an der erzeugten Bruttoenergie; 7.300 Volllast-Stunden

2) Gülle mit Futterresten (8,5 % TS): 20 m<sup>3</sup>/GV und Jahr; 25 m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas, 55 Vol% Methan

3) Maissilage wachsreif körnerreich (35 % TS): 45 t/ha, 202 m<sub>N</sub><sup>3</sup> Biogas, 53 Vol% Methan

Bei vollständigem Verzicht auf Gülle liegt der Flächenbedarf für eine 100 kW-Anlage bei rund 43 ha. Soll der Maisanteil in der Fruchtfolge 33 Prozent nicht übersteigen, müssen 129 ha Ackerfläche zur Verfügung stehen. Kann die gesamte Ackerfläche eines Betriebes für die Biogasproduktion (100 kW-Anlage) genutzt werden, sind bei einer dreigliedrigen Fruchtfolge (1/3 Mais und 2/3 Getreide) rund 65 ha für die Rohstoffversorgung notwendig.

Der Flächen- bzw. Rohstoffbedarf für die Biogasproduktion ist also erheblich und kann zu einem fast unkalkulierbaren Risiko werden, wenn sich die Flächen nicht im Eigentum des Anlagenbetreibers befinden oder über langfristige Pachtverträge mit moderaten Pachtpreisen gesichert sind. Das deutliche Anziehen der Pachtpreise in den letzten Monaten gibt zur Sorge Anlass.

Der Zukauf von NawaRo verändert die Situation nicht entscheidend. Einerseits bestimmen Angebot und Nachfrage den Rohstoffpreis. Andererseits müssen die zugekauften Nährstoffe sinnvoll, d. h. nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis, auf der Fläche verwertet werden. In viehstarken Regionen sind deswegen erhebliche zusätzliche Verwertungskosten zu erwarten, da die vorhandenen Flächen für die Gülle benötigt werden und die Konkurrenz um Pachtflächen entsprechend hoch ist.

### **3 Modellkalkulation**

Für die Modellkalkulation wurde eine Musteranlage mit rund 100 kW elektrischer Leistung gewählt. In dieser Größenordnung lässt sich die Biogaserzeugung als neuer oder alternativer Betriebszweig in viele Betriebe integrieren. Zudem erhalten kleinere landwirtschaftliche Biogasanlagen nach dem neuen EEG die höchste Stromvergütung. Sie sollten deshalb eine hohe Rentabilität erreichen.

#### **3.1 Substrate**

Als Rohstoffe stehen Gülle von ca. 90 RiGV, 20 ha Maissilage und jeweils 14 ha Ganzpflanzensilage bzw. Weizen zur Verfügung. Die Kennzahlen der Substrate sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die Gasausbeute – Normvolumen in Litern pro Kilogramm organische Trockenmasse ( $I_N/\text{kg oTM}$ ) – von Rindergülle wurde geschätzt. Sie schwankt in Abhängigkeit vom Anteil der Futterreste in der Gülle zwischen ca. 280 und rund 400  $I_N/\text{kg oTM}$ . Die Gasausbeuten der NawaRo sind auf Basis durchschnittlicher Nährstoffgehalte (Fett, Eiweiß und Kohlenhydrate) und Verdauungsquotienten berechnet (KEYMER und SCHILCHER, 1999).

Tab. 2: Substrate und Gasausbeuten

Frisch- masse (FM)  t /Jahr	Substrate	TM- Gehalt	oTM- Gehalt der TM	Gasausbeute		Methan- gehalt
		%	%	$l_N/kg$ oTM	$m_N^3/t$ FM	%
1.800 900	Rindergülle einschl. Futterreste	8,4	85,0	350	25	55
	Maissilage wachsreif körnerreich	33,0	96,0	600	190	53
113	Futterweizen	87,0	98,1	703	600	53
464	Getreide-GPS mittlerer Kornanteil	40,0	93,9	519	195	53
3.277	Substrate im Durchschnitt	22,9	93,5	549	117,6	53,2

### 3.2 Erträge

Aus dem Substratmix lassen sich rund 385.300  $m_N^3$  Biogas mit einem Heizwert von 5,32 kWh/  $m_N^3$  erzeugen. Die Verstromung übernimmt ein Zündstrahl-BHKW. Der Zündölverbrauch soll 10 % der zugeführten Bruttoenergie betragen. Das entspricht einem Zündölverbrauch von ca. 5,9 l pro 100  $m_N^3$  Biogas. Die Bruttoenergieerzeugung der Anlage einschließlich Zündöl beträgt 2.277.551 kWh (Tab. 3). Rund 44 % davon sollen als nutzbare Wärme anfallen. Die Höhe dieses thermischen Praxis-Wirkungsgrades ist stark von der Wartung des Aggregats abhängig (Reinigung der Wärmetauscher).

Ein Teil der thermischen Energie benötigt die Biogasanlage selbst (thermische Prozessenergie), um einerseits die täglich zugeführte Substratmenge auf das Temperaturniveau im Fermenter anzuwärmen und andererseits die Abstrahlungsverluste des Fermenters auszugleichen. Insgesamt soll der Prozessenergiebedarf rund 250.000 kWh<sub>therm</sub> betragen. Die Biogasanlage verbraucht also rund 25 % der erzeugten thermischen Energie selbst. Zusätzlich wird die Abwärme für die Brauchwassererwärmung und die Heizung genutzt. Dadurch können 4.000 l Heizöl eingespart werden. Die Biogasanlage erhält dafür bei einem angenommenen Heizölpreis von 40 Ct/l eine Gutschrift von 1.600 €.

Der elektrische Wirkungsgrad des BHKW ist mit 33 % angesetzt; d.h., aus der Bruttoenergie lassen sich rund 751.600 kWh Strom erzeugen. Bei 7.500 Volllaststunden pro Jahr – das entspricht einer Auslastung von 86 % – reicht dafür ein BHKW mit 100 kW Leistung aus. Gute Zündstrahl-BHKW dieser Leistungsklasse können einen elektrischen Wirkungsgrad von 33 % im Durchschnitt der Lebensdauer erreichen, wenn sie sehr gut gewartet werden.

Die Einnahmen errechnen sich aus der verkauften Strommenge mal dem jeweiligen Vergütungssatz. Im Jahr 2004 beträgt die Mindestvergütung für die Anlage 11,50 Ct/kWh<sub>el</sub>. Da nur Gülle und NawaRo verwertet werden, erhält die Anlage

zusätzlich den NawaRo-Bonus in Höhe von 6,00 Ct pro kWh<sub>el</sub>. Die Einnahmen aus Stromverkauf betragen insgesamt 131.529 €. Über einen Wärmemengenzähler soll der Anlagenbetreiber zudem nachweisen können, dass die dem Energieinhalt von 4.000 l Heizöl entsprechende Wärmemenge tatsächlich genutzt wird. Der Anlagenbetreiber hat deshalb Anspruch auf den KWK-Bonus. Die Stromkennzahl seines BHKW beträgt laut Herstellerangaben 0,72. Für die Auskopplung der 40.000 kWh Wärme müssen dementsprechend rechnerisch 28.800 kWh Strom erzeugt werden. Der Anlagenbetreiber bekommt für diesen Stromanteil zusätzlich 576 € (28.800 kWh<sub>el</sub> x 2 Ct/kWh<sub>el</sub>) vergütet.

Die Erträge aus Stromverkauf, Kraft-Wärme-Kopplung und ersparten Heizölkosten belaufen sich auf insgesamt 133.705 €/Jahr.

### 3.3 Anschaffungskosten

Zur Gesamtinvestition einer Biogasanlage gehören, neben den Anschaffungskosten für bauliche und technische Einrichtungen, die Kosten für

- die Planung und Genehmigung,
- den Netzanschluss,
- die Lagerung der Substrate und
- das Gärrestlager (ohne Berücksichtigung der betriebseigenen Gülle).

Vor ca. einem Jahr lagen die spezifischen Nettoinvestitionskosten für landwirtschaftliche Biogasanlagen mit einer Leistung von 100 kW, in einer Größenordnung von 3.000 bis 3.500 €/kW. Seitdem hat sich die Anlagenqualität dem Anschein nach so deutlich verbessert, dass teilweise 500 - 1.000 €/kW mehr verlangt und auch bezahlt werden. In der Modellkalkulation ist dieser Entwicklung mit dem Ansatz verschiedener Anschaffungskosten Rechnung getragen (siehe Tab. 4).

Geld kann man sparen, wenn man sich schon im Vorfeld der Investition bestens informiert, mit anderen Bauwilligen zusammenarbeitet, um gemeinsam größere Stückzahlen und Gewerke auszuschreiben und geschickt verhandelt. Das zahlt sich über die gesamte Laufzeit der Investition aus. Denn im Normalfall sind bei einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mindestens 50 % der jährlichen Anlagenkosten (ohne Rohstoffkosten) kapitalbedingt, d.h. sie werden durch die Abschreibung, die Kapitalverzinsung und die investitionsproportionale Versicherungshöhe – also die Anschaffungskosten – bestimmt.

Tab. 3: Modellkalkulation (1)

<b>Geschätzter Gasertrag (siehe Tabelle 2)</b>		<b>385.300</b>
Bruttoenergieerzeugung		
Energiegehalt Substrat	5,32 kWh/m <sup>3</sup>	kWh/Jahr 2.049.796
Energiegehalt Zündöl bei einem Anteil von	10,00 % der Bruttoenergie	kWh/Jahr 227.755
<b>Bruttoenergieerzeugung:</b>		<b>2.277.551</b>
erzeugte thermische Energie	Praxis-Wirkungsgrad <sub>therm</sub> 44 %	kWh/Jahr 1.002.122
abzüglich thermische Prozeßenergie	Temperaturniveau im Fermenter 39 °C	kWh/Jahr -250.000
<b>Verwendbare thermische Energie</b>		<b>752.122</b>
erzeugte elektrische Energie:	Ø Motorlaufzeit 7.500 Std/Jahr	kWh/Jahr 751.592
(Zündstrahler-BHKW)	Ø Wirkungsgrad <sub>el</sub> 33,00 %	
	notw. Mindestleistung 100 kW	
<b>Eingespeiste elektrische Energie</b>		<b>751.592</b>
<b>Einnahmen einschließlich ersparter Heizölkosten</b>		
Stromverkauf	Jahr der Inbetriebnahme: 2004 Ø Vergütung € / Jahr	131.529
Wärmenutzung	NewRo-Bonus <input checked="" type="checkbox"/> Innovations-Bonus <input type="checkbox"/> 17,50 Ct/kWh KWK-Bonus <input checked="" type="checkbox"/> Stromkennzahl 0,72	576
im Betrieb oder Wohnhaus	40.000 kWh ≈ 4.000 l Heizöl á 40 Ct/l	1.600
<b>Summe Erträge</b>		<b>133.705</b>

Tab. 4: Modellkalkulation (2)

Investition	Fermentergröße 800 m <sup>3</sup>		€/m <sup>3</sup> Fermenter		438	500	563
	Verweilzeit	80 Tage					
Bau und Technik					€	332.000	432.000
Zündstrahlmotor (ZS)	notw. Leistung	installierte Leistung	Anschaffungskosten	180 €/kW	€	18.000	18.000
	100 kW	100 kW					
<b>Gesamtinvestition</b>					<b>€</b>	<b>350.000</b>	<b>400.000</b>
<b>Kapitalkaufwand</b>	Zuschüsse	20.000	Kapital ohne Zuschüsse		€	330.000	430.000
<b>Geschätzte Jahreskosten</b>							
Abschreibung:	Bau/ langlebige Güter	60 % (Anteil)	20,0 Jahre		€/Jahr	9.960	12.960
	Technik	40 % (Anteil)	10,0 Jahre		€/Jahr	13.280	17.280
	Zündstrahlmotor	4,5 Jahre			€/Jahr	4.000	4.000
Zinsansatz		6,0 %			€/Jahr	9.900	12.900
Versicherung		0,5 %			€/Jahr	1.750	2.250
Reparaturen/Wartung:	Bau	1,0 %			€/Jahr	1.992	2.592
	Technik	3,0 %			€/Jahr	3.984	5.184
	Zündstrahlmotor/Generator	0,4 Ct/kWh <sub>el</sub>			€/Jahr	3.006	3.006
Zündölkosten	Energieinhalt	10,00 kWh/l ≙	22.776 l/Jahr	0,40 €/Liter	€/Jahr	9.110	9.110
elektrische Prozessenergie	Zukaufspreis	10,00 Ct/kWh	30.064 kWh/Jahr		€/Jahr	3.006	3.006
<b>Gesamtsumme Jahreskosten Biogasanlage</b>					<b>€/Jahr</b>	<b>59.989</b>	<b>72.289</b>
<b>Rohstoffkosten</b>					€/Jahr	58.000	
<b>Energiepflanzenprämie</b>	48 ha á	á	45 €		€/Jahr	-2.160	
<b>Düngerwert</b>	(ohne Gülle/Mist der betriebeneigenen Tierhaltung) - davon anrechenbar				100%	-8.300	
<b>Gewinn/Verlust (ohne Lohnkosten/-ansatz)</b>					<b>€/Jahr</b>	<b>26.176</b>	<b>13.876</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>							
Außenwirtschaft/Entnahme	48 ha á Ø	10 AKh/ha			€/AKh	24,21	12,83
Betrieb Biogasanlage	100 kW	6 AKh/kW und Jahr	1.081 AKh			18,52	

### 3.4 Jahreskosten der Biogasanlage

Ausgehend von den unterschiedlichen Investitionssummen werden die langfristig nutzbaren Anlagegüter und baulichen Investitionen (Anhaltswert: 60 % der Investition ohne Motor) auf die Laufzeit der garantierten Einspeisevergütung abgeschrieben – in der Hoffnung, dass der Fermenter wirklich so lange durchhält. Die Technik (ca. 40 % der Investition ohne Motor) erreicht diese Standzeiten nicht. Die Abschreibungsdauer sollte nicht mehr als 10 Jahre betragen. Der Zündstrahlmotor, nicht das gesamte BHKW, ist spätestens nach ca. 4 - 5 Jahren zu ersetzen. Eine Laufleistung von 7.500 Stunden/Jahr unterstellt, hat er dann immerhin 30.000 bis 38.000 Betriebsstunden erreicht. In der Beispielskalkulation ist deshalb der Motor separat mit Anschaffungskosten von 180 €/kW berücksichtigt. Der Mischzinssatz für Fremd- und Eigenkapital soll 6 v.H. betragen.

Für Unterhalt, Reparatur und Wartung von langlebigen Wirtschaftsgütern sind mindestens 1 % und für die Technik 3 % des Investitionsvolumens anzusetzen. Die Kosten für die Eigenwartung des BHKW liegen in einer Größenordnung von ca. 0,4 Ct pro kWh erzeugten Strom (ohne Lohnansatz). Die Arbeitszeit, ca. 1 Stunde pro Woche, ist im Ansatz für die Anlagenbetreuung zu berücksichtigen. Der Betrag von 3.000 € ist allerdings sehr knapp bemessen und dürfte gerade für die notwendigen Wartungsmaßnahmen reichen. Ein Vollwartungsvertrag würde ca. 1,5 bis 1,8 Ct/kWh<sub>el</sub> kosten. Hinzu kommt noch das Zündöl. Obwohl der Anteil nur 10 % der Bruttoenergie beträgt, werden jährlich rund 22.800 l Zündöl verbrannt. Bei einem Preis von 40 Ct/l schlagen die Zündölkosten mit 9.110 € zu Buche. Der Betrieb von Rührwerken, Pumpen und sonstigen Verbrauchern benötigt Strom. Die Höhe des Eigenstromverbrauchs hängt wesentlich von der Anzahl, der Leistung und der Laufzeit der Rührwerke ab. Er liegt in einer Größenordnung von 3 bis über 10 % des erzeugten Stroms. Im Beispiel sind 4 % (30.006 kWh) angesetzt. Der Strom wird zugekauft. Dafür den selbst erzeugten Strom zu nutzen, macht nur dann Sinn, wenn der Stromzukaufspreis höher ist als die Einspeisevergütung.

Insgesamt ist je nach Investitionssumme mit Jahreskosten von ca. 60.000 bis 72.000 € zu rechnen.

### 3.5 Rohstoffkosten

Gülle, Futterreste und Einstreu vom eigenen Betrieb stehen der Biogasanlage kostenfrei zur Verfügung. Die Kosten der Lagerung und der Ausbringung muss die Tierhaltung tragen.

Anders sieht es bei den NawaRo aus. Alle Kosten vom Anbau über die Entnahme aus dem Silo bis zur Ausbringung des Gärrestes gehen zu Lasten der Biogasanlage (siehe Abbildung 1). Da die NawaRo auf Pachtflächen erzeugt werden sollen, sind Pachtzinsen in Höhe von 300 €/ha angesetzt. Festkostenanteile für Maschinen wurden in die Rohstoffkosten nicht eingerechnet. Die Festkosten des

benötigten Siloraums und des Gärrestlagers sind in den Jahreskosten der Biogasanlage enthalten.

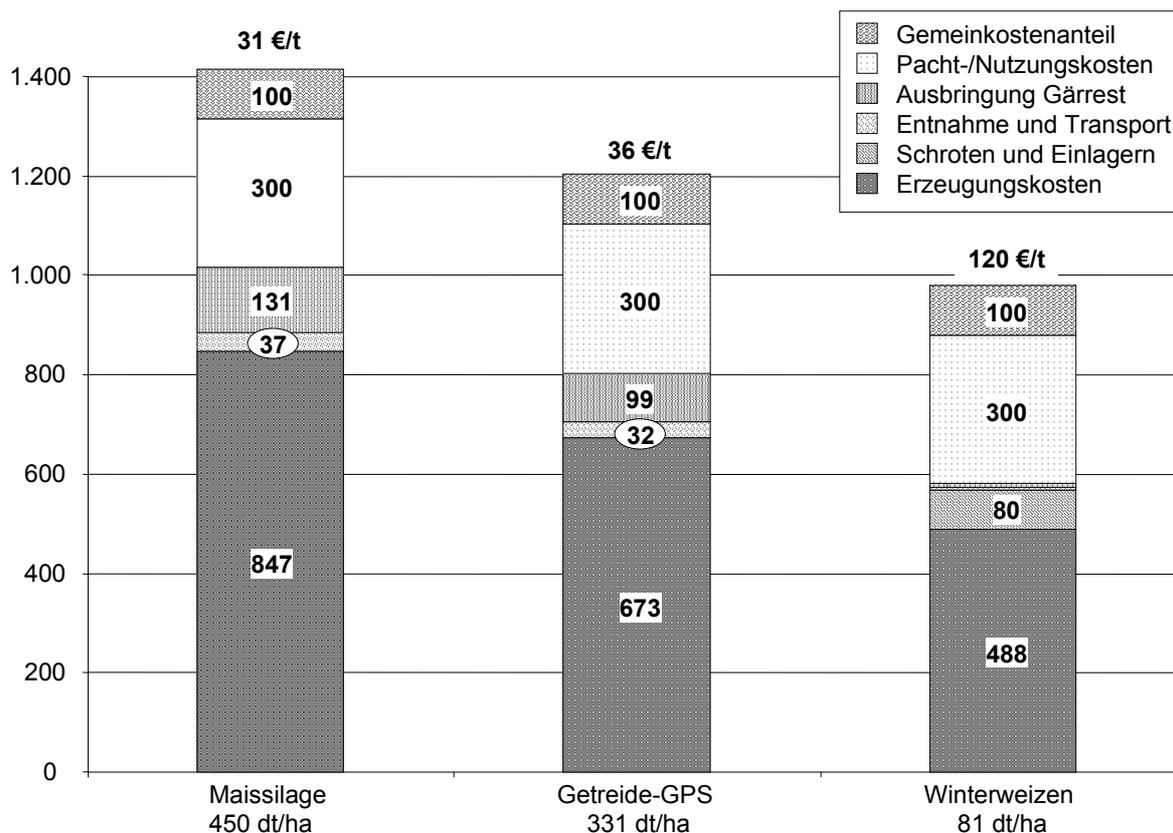


Abb. 1: Bereitstellungskosten der Rohstoffe frei Biogasanlage ohne Festkostenanteile und Lohnansatz (netto)

### 3.6 Düngerwert

Die Nährstoffe im ausgefaulten Substrat haben einen Düngerwert. Allerdings nur, wenn die organische Düngung mit dem Gärrest tatsächlich zu einer Verminderung des Mineraldüngerzukaufs führt, dürfen diese eingesparten Kosten der Biogasanlage angerechnet werden.

In der Modellkalkulation ist angenommen, dass die von den Pflanzen entzogenen Nährstoffe Phosphor und Kali über den Gärrest vollständig als Dünger auf die Flächen rückgeliefert werden. Bei Stickstoff sind Verluste von 24 % angesetzt. Die Biogasanlage, die auch Kostenträger des NawaRo-Anbaus ist, erhält einen Düngerwert in Höhe von 8.300 € gut geschrieben.

Betriebseigene Wirtschaftsdünger und Futterreste bleiben in dieser Düngerwertberechnung unberücksichtigt. Sie fallen unabhängig davon an, ob eine Biogasanlage betrieben wird, und stehen der Biogasanlage kostenfrei zu Verfügung. Die Nährstoffmengen verändern sich durch die Behandlung in der Biogasanlage nicht. Der Düngerwert kommt deshalb ausschließlich der Tierhaltung zugute, die auch die Kosten der Lagerung und Ausbringung zu tragen hat.

### 3.7 Ergebnis der Kalkulation

Gelingt es die spezifischen Anschaffungskosten im Rahmen zu halten – 3.500 €/kW sind auch unter den derzeitigen Rahmenbedingungen durchaus möglich –, kommt unter den Modellannahmen ein Gewinn von rund 26.000 € für die Biogasanlage heraus. Die eingesetzte Arbeit, ca. 1.100 AKh, verwertet sich mit ca. 24 €/AKh (siehe Tabelle 4). Werden 500 bzw. 1.000 €/kW mehr investiert, sinkt der Gewinn auf rund 20.000 € bzw. 14.000 €. Die Arbeitsverwertung liegt dann bei knapp 19 bzw. 13 €/AKh. Auch das ist noch ein recht gutes Ergebnis, wenn der Düngerwert in voller Höhe realisiert werden kann.

Biogaserzeugung könnte also für viele landwirtschaftliche Betriebe ein interessanter Betriebszweig sein, der einen gewichtigen Beitrag zur Einkommenssicherung leistet. Der Preis und der Absatz ist über die gesamte Laufzeit der Investition gesichert. Das vermindert das Investitionsrisiko deutlich.

Voraussetzung ist allerdings, dass die angenommenen Leistungen erreicht bzw. die kalkulierten Kosten nicht deutlich überschritten werden.

## 4 Sensitivitätsanalyse

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gehen immer von Annahmen aus, die die Wirklichkeit mehr oder weniger gut abbilden. Wichtig ist es deshalb zu prüfen, wie sich das Ergebnis verändert, wenn einzelne Annahmen übertroffen oder unterschritten werden. Die Ergebnisse einer sogenannten Sensitivitätsanalyse sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tab. 5: Einfluss wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit

Parameter	Änderung	Gewinnveränderung
Strom-Mindestvergütung	± 1,5%	±1.278 €
Anschaffungskosten	± 10.000 €	± 1.230 €
elektrischer Wirkungsgrad	± 10 %	± 12.550 €
Gasertrag	± 10 %	± 11.645 €
Rohstoffkosten	± 10 %	± 5.800 €

### 4.1 Stromvergütung und Anschaffungskosten

Beginnend ab dem 01. Januar 2005 werden die Mindestvergütungen jährlich für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um 1,5 Prozent gesenkt. Sie sinken für kleinere Biogasanlagen, die 2005 an das Netz gehen, von 11,50 auf 11,33 Ct/kWh. Der NawaRo-Bonus ist davon nicht betroffen. Geht also die Musteranlage erst 2005 ans Netz, verringert sich der Gewinn nur um 1.278 €. Die

Absenkung ist also kein Grund, sich unter Druck zu setzen und vorschnell zu investieren.

Wer nicht unter Zeitdruck steht, kann besser verhandeln und häufig bessere Konditionen erreichen. Gelingt es beispielsweise die Anschaffungskosten nur um 10.000 € zu reduzieren, wäre die Gewinnminderung durch die spätere Inbetriebnahme der Anlage nahezu ausgeglichen.

#### **4.2 Elektrischer Wirkungsgrad**

Im praktischen Betrieb wird es kaum möglich sein, den angenommenen durchschnittlichen Wirkungsgrad deutlich zu übertreffen. Vielmehr besteht die Gefahr, dass der Wirkungsgrad unterschritten wird. Liegt der tatsächliche Wirkungsgrad nur 6 % unter dem angenommenen Wert – das BHKW erreicht also statt des kalkulierten Wirkungsgrades von 33 % nur 31 % –, sinkt der Gewinn um rund 7.500 €; das sind je nach Anschaffungskosten 29 bis 54 % des kalkulierten Gewinns. Der elektrische Wirkungsgrad des BHKW hat also großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

#### **4.3 Gasertrag**

Die Höhe der zu erwartenden Gaserträge wird von vielen Faktoren bestimmt. Neben der Verweilzeit, der Reaktorbelastung und der Qualität des Anlagenbetreibers, um nur einige Faktoren zu nennen, hängen die Gaserträge wesentlich von den Substrateigenschaften ab. Die Nährstoffgehalte, die Verdaulichkeiten und damit die Gasausbeuten variieren je nach Reifegrad und Art der Konservierung. Ein Beispiel soll das verdeutlichen: Die zu erwartende Gasausbeute von Maissilage schwankt je nach TM-Gehalt, Reifestadium und Qualität zwischen 500 und 680 l<sub>N</sub>/kg oTM bzw. 105 und 228 m<sub>N</sub><sup>3</sup>/t Frischmasse.

Es ist also durchaus möglich, dass die in der Modellkalkulation angenommenen Gaserträge um 5 bis 10 % übertroffen, aber auch unterschritten werden. Der Gewinn verändert sich dann unter sonst gleichen Annahmen um ca. 5.800 bis 11.600 €.

#### **4.4 Rohstoffkosten und Pachtpreis**

Der größte Kostenblock einer landwirtschaftlichen Biogasanlage sind die Rohstoffkosten. Dementsprechend hoch ist der Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis. Eine 10 %ige Erhöhung der Rohstoffkosten, lässt den Gewinn der Modellanlage um 5.800 € sinken. Erhöht sich beispielsweise der Pachtzins von 300 auf 500 €/ha, verteuert das den Rohstoff um rund 16,5 %. Ab Pachtpreisen von 600 €/ha ist die Musteranlage bei spezifischen Investitionskosten von 4.500 €/kW nicht mehr wirtschaftlich zu betreiben. Auch die etwas günstigere Variante (4.000 €/kW) verliert deutlich an Attraktivität. Für die Entlohnung der Arbeit bleibt kaum noch etwas übrig.

## **Literaturverzeichnis**

KEYMER U. und A. SCHILCHER (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten in Biogasanlagen vergärbare Substrate. -In: Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising.



# Perspektiven und Entwicklungstrends für landwirtschaftliche Biogasanlagen in Bayern

Andreas Gronauer<sup>1</sup>, Volker Aschmann<sup>1</sup>, Mathias Effenberger<sup>1</sup>, Felipe Kaiser<sup>1</sup>, Rainer Kissel<sup>1</sup>, Markus Schlattmann<sup>1</sup>, Manfred Speckmeier<sup>1</sup>, Hocine Arab<sup>2</sup>, Michael Lebuhn<sup>2</sup>, Marc Wichern<sup>2</sup>, Wolfgang H. Schwarz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, Freising

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU München, Garching

<sup>3</sup> Lehrstuhl für Mikrobiologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Freising

## 1 Einleitung

Seit der Novellierung des Stromeinspeisegesetzes im Jahr 2000 in Form des „Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ (EEG) ist ein kontinuierlicher Aufschwung im Bereich landwirtschaftlicher Biogasanlagen zu verzeichnen. Die am 01.08.2004 in Kraft getretene Novelle des EEG setzt nun neue Rahmenbedingungen für die Zukunft. Die Einspeisevergütung wird über einen Zeitraum von 20 Jahren mit einer Degressionsrate (auf einer Grundvergütung) von 1,5 %/a ab dem 01.01.2005 gewährt. Insbesondere der sogenannte „Bonus für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen“ (NawaRo-Bonus) ermöglicht einen wirtschaftlich ertragsversprechenden Einsatz von Energiepflanzen in Biogasanlagen. Vor diesem Hintergrund erklären sich auch die sehr optimistischen Prognosen verschiedener Institutionen bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Biogasnutzung (vgl. Abb. 1).

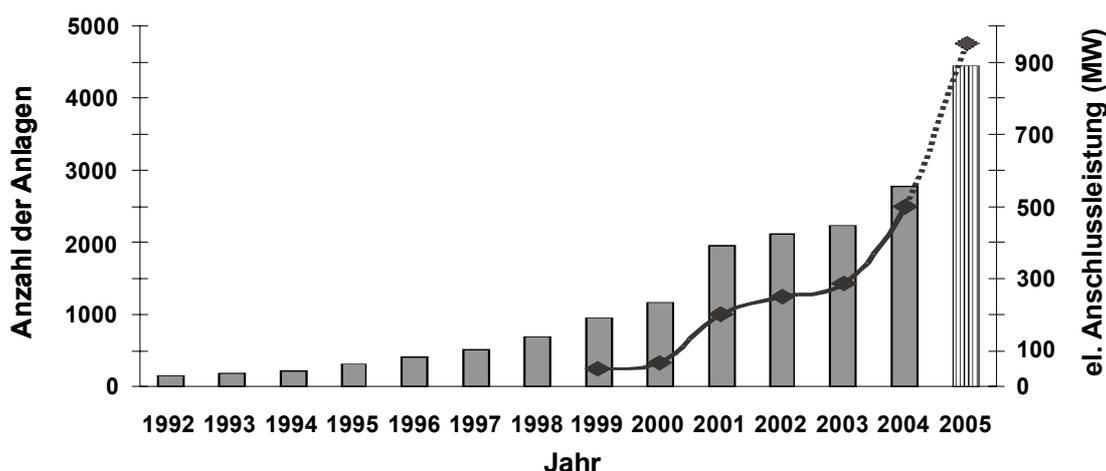


Abb. 1: Entwicklung der Anzahl von Biogasanlagen (grau) und der elektrischen Anschlussleistung (schwarz) in Deutschland (gestrichelt: Prognose) (Fachverband Biogas e.V., 2004)

Zukünftige Entwicklungen auf den Energiemärkten (z.B. Spitzenstromtarife oder Rohölpreise) können aber durchaus zu noch höherer Attraktivität für die Biogasproduktion führen.

Für landwirtschaftliche Betriebe bedeutet die langfristige Preisbindung im Vergleich zu anderen Produktionszweigen eine hohe Planungssicherheit sowie gesicherte Abschreibungszeiträume für Investitionen.

Diese Rahmenbedingungen und allgemeinen Entwicklungen haben sich bislang in Bayern regional unterschiedlich ausgewirkt (vgl. Abb. 2). Eine statistisch abgesicherte Aussage hinsichtlich der Ursachen dieser Unterschiede ist nicht möglich. Zudem sind die Angaben nicht deckungsgleich mit Angaben zur Anzahl von Biogasanlagen, für die Fördermittel im Rahmen des Agrarzuschussprogramms (AZP) oder Agrarinvestitionsförderprogramms (AFP) in Anspruch genommen werden.

Wesentlich erscheint, dass in den nächsten Jahren ein verstärktes Engagement der Praxis zu erwarten ist, vergleicht man das Verhältnis zwischen Anlagen, die sich im Bau befinden mit der Anzahl Anlagen, die sich im Planungsverfahren und erst in der Vorplanung befinden (214/433/1766).

Diese Entwicklungen werden vor dem Hintergrund der vielfältigen Anbieter von Planungsleistungen, Anlagen und Anlagenkomponenten einerseits und den erhöhten Anforderungen an die Anlagentechnik von Seiten der Genehmigung, der eingesetzten Substrate (Stichwort: „Reine NawaRo-Anlage“) sowie den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen andererseits zu einer zunehmenden Nachfrage nach Know-how und Beratungsleistung führen.

Dies gilt nicht nur für die Anlagentechnik und das Management sondern auch für den Anbau von NawaRo und die Einbettung dieses neuen Betriebszweiges in den landwirtschaftlichen Gesamtbetrieb, einschließlich seiner standortspezifischen Rahmenbedingungen.

Insbesondere die Anforderungen durch den Einsatz von NawaRo erstrecken sich auf einen weiten Bereich (Anbauverfahren, Fruchtfolgen, Sorten, Düngestrategien, Einbringtechniken, Fermenterbauarten und -management, Gärrestbehandlung, -lagerung und -ausbringung) und enden mit den umfassenden Fragen nach der nachhaltigen und standortangepasst umweltschonenden Einbindung in den landwirtschaftlichen Betrieb sowie der Wirtschaftlichkeit diese Betriebszweiges.

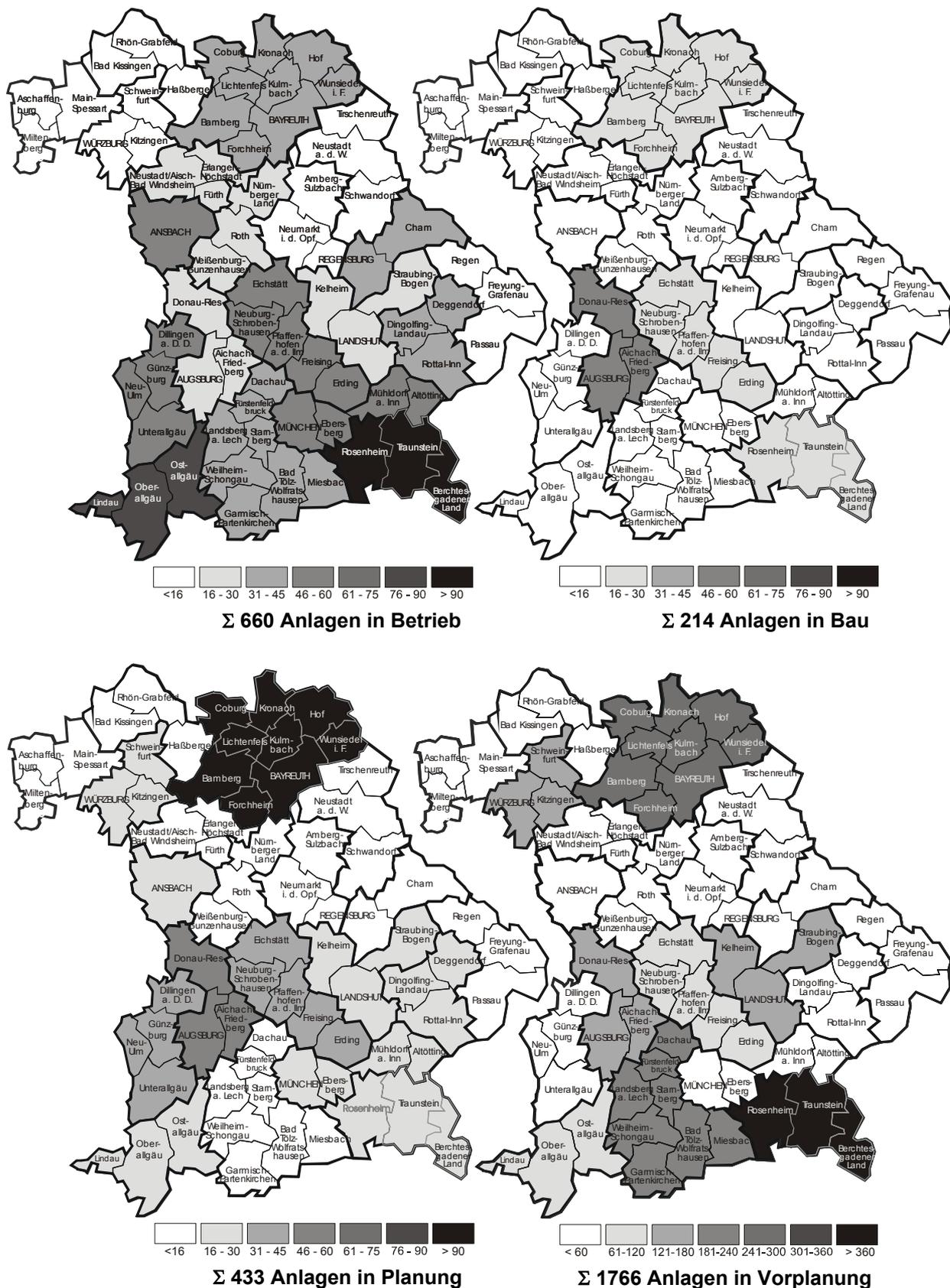


Abb. 2: Situation der Biogasanlagen in Bayern nach einer Umfrage bei den Fachberatern für Landtechnik an den Landwirtschaftsämtern in Bayern (Anlagenanzahl je Dienstgebiet eines Beraters) (Stand Oktober/November 2004)

## 2 Perspektiven und Entwicklungstrends

Neben den Entwicklungen auf den konventionellen Energiemärkten wird von verschiedener Seite der Biomasse und insbesondere dem Bereich Biogas ein hohes Entwicklungspotenzial zugesprochen.

Entscheidend sind die Fragen: Wie groß sind die Potenziale der NawaRo und welchen Flächenanspruch werden sie einnehmen?

Prognosen nach der Novellierung des EEG gehen davon aus, dass der Anteil von Biogas am Primärenergieverbrauch Bayerns (2,1 PJ  $\cong$  580 TWh) von ca. 0,05 % (262 GWh<sup>1</sup>) im Jahre 2003 auf bis zu 0,4 % (2437 GWh<sup>2</sup>) im Jahre 2006 gesteigert werden kann (berechnet aus Abb. 2; in Betrieb, im Bau, in Planung). Legt man Methanertragsdaten für NawaRo (3000 m<sup>3</sup> Methan/ha u. a für Grünland und 5500 m<sup>3</sup> Methan/ha u. a für Mais) zugrunde (KAISER ET AL. 2004) und bezieht man diese Steigerungen bei einem Energiegehalt von 9,95 kWh/m<sup>3</sup> Methan auf den Anbau von NawaRo, würde dies einen Flächenanspruch von 81.642 ha LN Grünland bzw. 44.532 ha Ackerland oder 7,1 % der bayerischen Dauergrünlandflächen bzw. 2,1 % der bayerischen Ackerfläche bedeuten (BAYERISCHER AGRARBERICHT 2004).

Die Stilllegungsflächen in Bayern (ohne die bereits für NawaRo bewirtschafteten Flächen) betragen 2003 4,2 % der LN bzw. ca. 155.000 ha. Vor diesem Hintergrund ist eine möglichst weitgehende Verwertung dieser Flächen für die Biogasproduktion anzustreben, soweit sie nicht im Konflikt zu Natur- und Bodenschutzzielen steht. Weitere Verschiebungen in den folgenden Jahren sind zu erwarten, wenn der weitere Ausbau des Produktionszweiges Biogas anhält. Die ersten Anzeichen einer derartigen Entwicklung sind bereits anhand der Pachtpreisentwicklung in manchen Regionen Bayerns zu spüren.

Die Perspektiven, soweit sie den Anbau von NawaRo betreffen, konzentrieren sich derzeit im Wesentlichen auf Mais. Die damit verbundenen Aspekte der Nachhaltigkeit und „guten fachlichen Praxis“ vor allem der Fruchtfolgegestaltung und ausgewogenen Nährstoffbilanzierung werden aber noch zu optimieren sein.

Die Entwicklungsarbeiten im Bereich der Verfahrenstechnik sind stark auf die Optimierung der Anlageninvestitionen auszurichten, wobei eine hohe Qualität von Planung und Anlagentechnik sicherzustellen ist. Im Detail betrifft dies die Prozesstechnik, einschließlich der mikrobiologischen Optimierung, die Biogasverwertung, Betreibermodelle und Management sowie die ökologische und ökonomische Optimierung.

---

<sup>1</sup> 47 MW<sub>el</sub>; Laufzeit des BHKW: 5500 h/a

<sup>2</sup> 375 MW<sub>el</sub>; Laufzeit des BHKW: 6500 h/a

## 2.1 Prozesstechnik und Mikrobiologie

Die gesamte Verfahrenskette (siehe Abb. 3) befindet sich derzeit für den Einsatz hoher Anteile bzw. den ausschließlichen Einsatz von NawaRo erst am Anfang der Entwicklung.

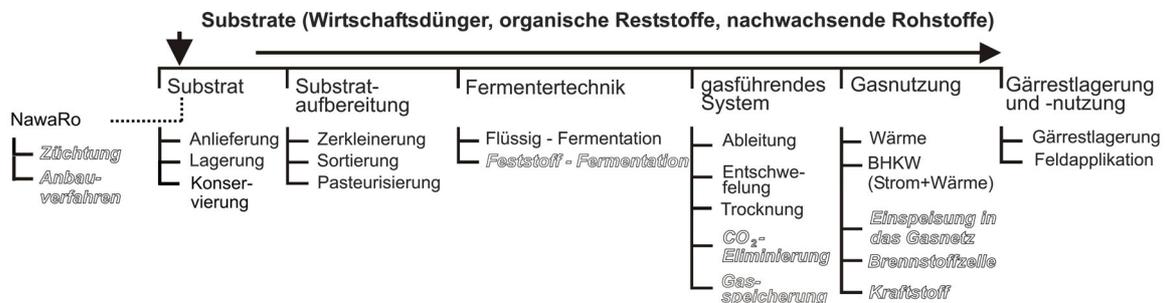


Abb. 3: Systematik der Verfahrensschritte in der Biogasproduktion (kursiv: in Entwicklung)

Die Verfahrenstechnik ist im Vergleich zu anderen Branchen des Anlagenbaus gering entwickelt, Optimierungspotenziale sind nicht ausgeschöpft und das erforderliche Know-how in den Bereichen Mikrobiologie und Prozessregelung ist zum Teil erst in Ansätzen verfügbar (Fazit eines Workshop der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) am 28./29.09.2004). Eine Steigerung der Effizienz der Biogasproduktion (und -nutzung) um das 2-4 fache durch Verbesserungen in der Verfahrenstechnik und Mikrobiologie wird als möglich angesehen.

### 2.1.1 Entwicklungstrends in der Prozesstechnik

Im Bereich der Prozesstechnik konzentrieren sich derzeit die Entwicklungen auf die Anpassung der Fermentertechnik an den Einsatz von NawaRo. Diese Entwicklungen reichen bis an die Grenze, ausschließlich NawaRo in der Anlage einzusetzen und die Kofermentation mit Wirtschaftsdüngern gänzlich aufzugeben.

Im Zusammenhang mit diesen Entwicklungen steht immer die Frage nach sogenannten „Trockenfermentationsverfahren“. Hierzu ist festzuhalten, dass der verwendete Begriff „trocken“ irreführend ist, da eine Vergärung das Vorhandensein von Wasser voraussetzt. Sowohl die Mobilität als auch der Stoffwechsel der Mikroorganismen des anaeroben Abbaus ist an ein flüssiges Medium gebunden! Auch die Feststoffverfahren sind durch Trockensubstanzgehalte des Materials im Fermenter zuzüglich der von extern zugeführten Flüssigkeitsmengen bis höchstens 35 % TS gekennzeichnet.

Demzufolge entsprechen die Begriffe Feststoff- und Flüssigfermentation eher der Realität und führen weniger zu Missverständnissen.

Die Verfahren lassen sich anhand der während der Behandlungszeit im Substrat vorherrschenden Trockensubstanzgehalte und nach dem Kriterium kontinuierlicher (Durchfluss) oder absätziger (batch) Prozess systematisieren (Abb. 4).

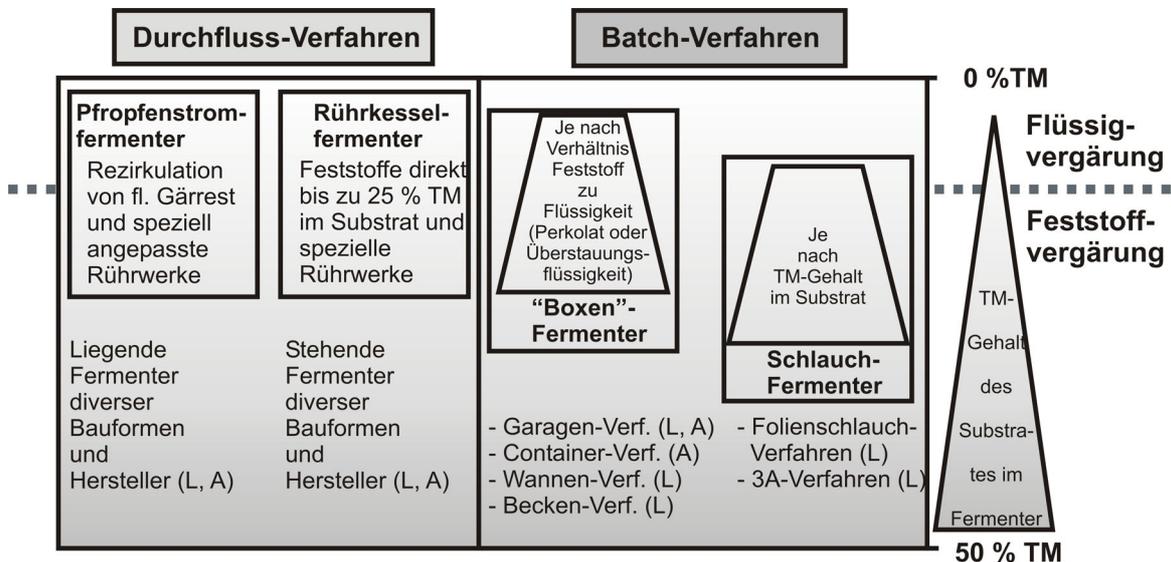


Abb. 4: Einteilung der verschiedenen Vergärungsverfahren (A = Verfahren in der Abfallwirtschaft, L = Verfahren in der Landwirtschaft)

Es hat sich inzwischen auch in der Praxis gezeigt, dass neuere Entwicklungen den Einsatz von ausschließlich NawaRo nicht nur in den Batch-Verfahren sondern zunehmend auch in den „klassischen“ Durchflussverfahren ermöglichen. Wichtig ist die gegenseitige Abstimmung von Technik für Einbringung, Durchmischung, Wärmeeintrag und -übergang sowie Substrataustrag der Einsatzstoffe.

Die Entwicklung der Batch-Verfahren hat bislang noch nicht den Stand und die Effizienz der Durchflussverfahren erreichen können (vgl. Tab. 1 und GRONAUER und ASCHMANN, 2003), weitere Entwicklungen finden derzeit aber an verschiedenen Stellen statt (FNR 2004).

Aber auch bei den etablierten Durchflussverfahren bestehen hohe Optimierungspotenziale. Dies sei nur an einem Beispiel verdeutlicht:

Der in 3 Tagen erreichte Abbaugrad der organischen Substanz aus einer Grassilage im Verdauungstrakt der Kuh wird im Durchschnitt der heute betriebenen Biogasanlagen erst in 30 Tagen erreicht. Ergebnisse aus exakten Laborversuchen belegen diesen Vergleich (SCHWARZ, 2004). Der Vergleich zeigt auf, dass ein hohes Potenzial besteht, die Raum-Zeit-Ausbeute der Biogasfermenter zu steigern.

Tab. 1: Methanerträge der Feststofffermentation in einer Pilotanlage („Garagenverfahren“) im Vergleich zu Durchflussverfahren

Methanertrag von	Methanerträge in L/kg oTS		Methanertrag in % zur Literatur
	Batch-Verfahren <sup>1</sup>	Durchfluss-Verfahren <sup>2</sup>	
Grassilage	97,2	325	30
Rinderfestmist	115,7	248	47
Landschaftspflegegrün	95,7	83	115
Hühnermist	84,3	300	28
Maissilage	115,9	324	36

<sup>1</sup> Ergebnisse aus Versuchen in der Pilotanlage „Garagenverfahren“; <sup>2</sup>Richtwerte der KTBL-Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ 2004 (im Druck);

Der erste Schritt, der unmittelbar in der Praxis umgesetzt werden kann, sollte durch die Fermenterbeschickung und durch die „Futtermittelsgestaltung“ für die Mikroorganismen getan werden. Kontinuierliche Fütterung mit ausgewogenen Nährstoffrationen sollte das Ziel sein. In Zukunft könnten auch verschiedene mechanische, biologische und chemische Aufbereitungsverfahren für die Vorbehandlung von Substraten an Bedeutung gewinnen. Bei diesen Maßnahmen wird das Ziel verfolgt, die Abbaubarkeit der Substrate zu erhöhen und damit die Verweilzeit in den Fermentern zu verringern bzw. die Methanproduktionsrate entsprechend zu steigern.

### 2.1.2 Entwicklungen durch Mess- und Regeltechnik

In Praxisanlagen vorhandene Messtechnik beschränkt sich meistens auf Geräte zur Messung der produzierten Strommenge. Informationen über die zugeführten Substratmengen, die produzierte Gasmenge, die Zusammensetzung des Biogases, die Effektivität der Abscheidung von Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) u. a. fehlen in der Regel, um die Investitionskosten zu reduzieren. Auch die Analyse von Proben aus dem Fermenter auf den Gehalt an flüchtigen Fettsäuren und Ammoniak, vor allem während der Anfahrphase oder bei wesentlichen Änderungen der Substratgemische sowie für die Optimierung der Zufuhrintervalle in den Fermenter, findet in der Praxis bislang nur vereinzelt statt.

Praxis- und Laboruntersuchungen zeigen sehr deutlich, dass die Analyse von Fermenterproben und vor allem die Messung der produzierten Gasmenge und der Gaszusammensetzung (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S) eine wichtige Kontrollfunktion für die Optimierung des Prozesses haben. Somit garantieren derartige Messungen die langfristige Stabilität des Prozesses und damit eine kontinuierliche Methanproduktion. Die Fermenterauslastung (hohe Raumbelastung in kg oTS/m<sup>3</sup> u. d.) bei kontinuierlicher Methanproduktion sicherzustellen, stellt auch eine wichtige

ökonomische Größe dar. Entsprechende Angebote und Geräte zur Überwachung dieser Parameter sind auf dem Markt erhältlich und für die Praxis einsetzbar.

Zukünftige Entwicklungen zielen darauf ab, die wesentlichen Einflussfaktoren auf den Prozess zu quantifizieren, um diese Ergebnisse in entsprechende Rechenmodelle einzubauen und somit Grundlagen für die Entwicklung von computergekoppelten Regelsystemen zu entwickeln, die sowohl Kontroll- und frühzeitige Alarmfunktionen übernehmen können, als auch eine hohe Prozessintensität ohne Überlastungsrisiken im kontinuierlichen Betrieb zu ermöglichen. Die Entwicklung entsprechender Sensoren zur Online-Reaktorüberwachung, die ausreichend lange Funktionssicherheit garantieren und kostengünstig auf dem Markt angeboten werden stehen heute teilweise schon zur Verfügung. In den nächsten Jahren sind auch in diesem Bereich weitere Entwicklungen zu erwarten.

### **2.1.3 Entwicklungstrends in der Mikrobiologie**

Erste Ansätze aus dem Bereich der Mikrobiologie zeigen, dass die Unterschiede mikrobiologischer Aktivität und der Einfluss verschiedener Faktoren sichtbar gemacht und quantifiziert werden können. Aus den Ergebnissen dieser Grundlagenforschung können zukünftig Strategien entwickelt werden, die Mikrobiologie eines Fermenters auf hohe Aktivität und damit hohe Prozesseffizienz einzustellen.

Ein besonderes Ziel zukünftiger Entwicklungen liegt darin, die Hydrolyserate insbesondere von Material mit hohem Anteil an Strukturkomponenten durch einen intensiven Kontakt zwischen den primär abbauenden Mikroorganismen und dem Substrat zu steigern. Hierfür werden inzwischen molekularbiologische Methoden in der mikrobiologischen Forschung eingesetzt, die eine auf einzelne Organismen zielende Analyse zulassen.

Um eine geringe Abbauzeit zu erreichen, müssen die Rahmenbedingungen auf optimale Aktivität dieser Populationen sowie der für die folgenden Abbauschritte relevanten Organismen abgestimmt sein (z.B. pH-Wert oder Gehalt einzelner flüchtiger Fettsäuren). Der anaerobe Abbauprozess ist ein vielfältiges Zusammenspiel von Populationen mit z.T. sehr verschiedenen Ansprüchen an die Reaktionsbedingungen. Er ist nur effizient, wenn bestimmte, z.T. toxische Zwischenprodukte dem Reaktionsgleichgewicht entzogen werden und sich nicht anreichern können. In einem einstufig-einphasigen System müssen daher die Lebensbedingungen für die verschiedenen Mikroorganismen so gewählt werden, dass sie der gesamten Abbaukette gerecht werden und hohe Aktivitäten der Organismen gewährleisten.

Neuere Ansätze zielen darauf ab, bestimmte Abschnitte der Reaktionskette räumlich zu trennen, insbesondere die Hydrolyse von der Methanogenese, da deren Optimalbedingungen recht verschieden sind. Damit konnte bereits eine deutlich reduzierte Verweilzeit für cellulosereiches Material erreicht werden (RAIZADA, 2004). In Zukunft wird verstärkt eine Inokulierung an Bedeutung gewinnen, wenn

die für die einzelnen Abbauschritte verantwortlichen Organismen identifiziert, kultiviert und quantifiziert werden können. Hierfür werden z.Zt. neue molekularbiologische Methoden und neue Kultivierungstechniken entwickelt, deren Einsatz erwarten lässt, dass das gesteckte Ziel auch erreicht wird (LEBUHN, 2004, SCHWARZ, 2004).

Ein weiterer Ansatz der Mikrobiologie soll die bislang geringe Verwertungsrate der Hauptkomponente Zellulose in der pflanzlichen Biomasse für die Methanbildung erschließen. Die Zellulose ist aber kristallin, was den Angriff der Enzyme massiv erschwert. Die enge Verbindung der Zellulose-Kristalle mit den heterogenen Stoffen Hemicellulose und Lignin ist eine weitere Hürde für den Abbau – die Zellulose muss vor der weiteren Verwertung zunächst freigelegt werden.

Dies erfordert den Einsatz komplexer Enzymsysteme aus vielen unterschiedlich wirkenden Komponenten. Am erfolgreichsten ist das Zellulase-System der anaeroben Bakterien, das die notwendigen Komponenten in einem großen Enzymkomplex zusammenfasst. Ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz solcher Enzyme in isolierter Form ist derzeit jedoch nur eingeschränkt möglich. Allerdings können die Bakterien selbst eingesetzt werden, um diese Enzyme zu produzieren. Sie verwerten dabei zwar Teile der Biomasse zur eigenen Vermehrung und für die Produktion der Enzyme. Da es aber anaerobe Bakterien sind, sind die Stoffwechselprodukte dabei hauptsächlich Essigsäure, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>, die wiederum der Methanbildung zugute kommen – die verwendete Biomasse ist also für den Biogasprozess nicht verloren.

Im ersten Schritt dieser Entwicklungen müssen die notwendigen Bakterien identifiziert werden, die einen effektiven Aufschluss der Biomasse-Fasern bewerkstelligen und möglichst unter denselben Milieubedingungen aktiv sind wie die acetogenen und methanogenen Bakterien. Denn alle Populationen müssen eine stabile Gemeinschaft bilden können, die auch bei leicht wechselnden Bedingungen noch stabil und in allen Teilen aktiv bleibt. Leider sind in der Natur nur sehr wenige Bakterien in der Lage, Zellulose-Fasern wirklich so effizient aufzulösen, wie das für den NawaRo-Biogas-Prozess nötig wäre. Die Auswahl ist nicht sehr groß.

Es gibt aber hoffnungsvolle Ansätze für eine erfolgreiche Selektion entsprechend aktiv hydrolysierender Bakterien-Gemeinschaften (Abb. 5).

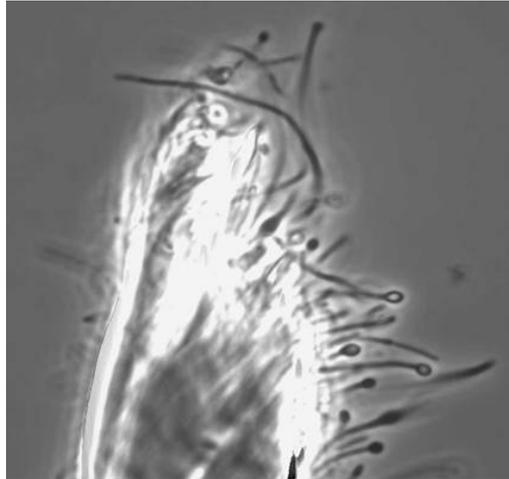


Abb. 5: Cellulosefaser mit anheftenden *Clostridium thermocellum* Zellen (lange, dünne Fäden mit einer verdickten Spitze (= Spore); (SCHWARZ, 2004)

Der Einsatz dieser Bakterienkulturen produziert also praktisch vor Ort die Enzyme, die für das jeweilige Substrat notwendig sind. Das könnte den teuren Zusatz von industriellen Zellulasen und zumindest einen Teil der Vorbehandlung der Substrate ersparen und trotzdem zu einem deutlich höheren Aufschluss und einer besseren Verwertbarkeit der Substrate führen. Versuche mit reiner Cellulose (Filterpapier) im Labormaßstab zeigen, dass *Clostridium thermocellum* in der Lage ist, innerhalb von 3 Tagen die Zellulose restlos abzubauen (Abb. 6). Der Rückstand nach 3 Tagen besteht nur noch aus *Clostridium thermocellum*-Zellen (Abb. 6; d).

Zusammenfassend zielen die Optimierungsansätze im Bereich Mikrobiologie in zweierlei Richtungen. Einerseits gilt es, schwer abbaubare organische Substanz wie Hemizellulose und Lignozellulose für die Methanbildung zu erschließen, andererseits soll der gezielte Einsatz von speziellen Mikroorganismen den Prozess beschleunigen. Prognosen gehen soweit, dass der Abbauprozess (Ist-Situation: Hydraulische Verweilzeit im Fermenter 30 - 40 Tage) um den Faktor 4 reduziert werden könnte. Diese Entwicklung wird aber mindestens 5 Jahre Entwicklungszeit benötigen. Die Entwicklung adaptierter Mikroorganismen für den Praxiseinsatz, die auch bislang schwer abbaubare Stoffe für die Methanisierung erschließt, wird einen ähnlichen Entwicklungszeitraum in Anspruch nehmen.

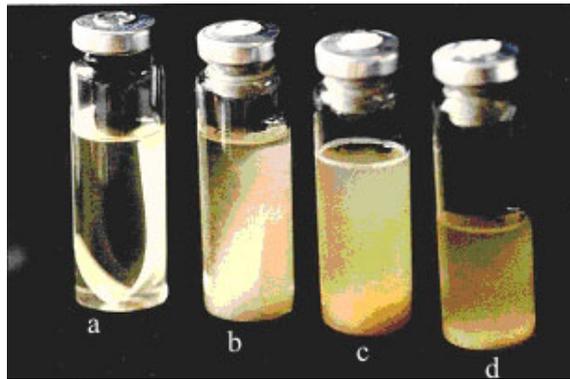


Abb. 6: Kultur von *Clostridium thermocellum* zersetzt Papier (a = 0. Tag; b = 1. Tag; c = 2.Tag; d = 3. Tag); (SCHWARZ, 2004)

## 2.2 Biogasverwertung

Seit Jahren wird in Fachkreisen über die Qualität der Wirkungsgrade von Blockheizkraftwerksmotoren (BHKW-M) diskutiert. Insbesondere wird ins Feld geführt, dass zwischen Herstellerangaben und gemessenen Wirkungsgraden in der Praxis mehr oder weniger hohe Differenzen auftreten würden. Wirkungsgradangaben der Hersteller beziehen sich meist auf die ISO Standardleistung gemäß der DIN 3046 bei Normbedingungen (1000 mbar, 25 °C und 30 % rel. Luftfeuchte) für Gase mit Methangehalten von 60 % oder reines Propangas. Messungen an Praxisanlagen müssen mit ausreichend genauen Analysengeräten erfolgen und um exakte Brennstoffwerte ermitteln zu können, muss in bestehende Anlagenbauteile eingegriffen werden. Zudem schwanken die Methangehalte im produzierten Biogas je nach Anlage und die Betriebszustände der einzelnen BHKW sind sehr unterschiedlich, so dass eine volle Leistungsfähigkeit nicht immer gegeben ist. In einem Forschungsprojekt im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) und des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) werden detaillierte Messungen an verschiedenen BHKW-Motoren durchgeführt. Auch in diesen Messungen zeigen sich Unterschiede zwischen den Gas- und Zündstrahlmotoren sowie eine Zunahme des Wirkungsgrades mit steigenden Leistungsklassen (Abb. 7).

Zukünftige Entwicklungen im Bereich der Biogasverwertung umfassen ein weites Feld. Hinsichtlich der Gasaufbereitung wird zunehmend diskutiert, ob das Biogas in Mikrogasturbinen oder Brennstoffzellen eingesetzt werden soll. Dies gilt auch für die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz für den vielfältigen späteren Einsatz (z.B. als Kraftstoff). Die Mindestanforderungen verschiedener Verwertungswege an die stoffliche Zusammensetzung des Biogases sind sehr unterschiedlich (Tab. 2).

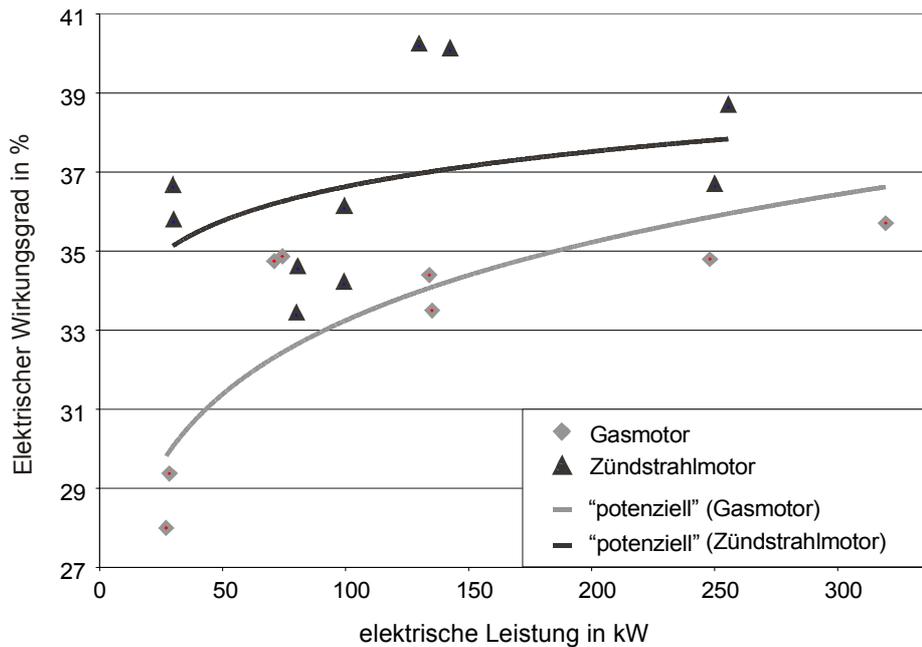


Abb. 7: Durchschnittliche Wirkungsgrade verschiedener BHKW gemessen an Praxisanlagen (vorläufige erste Ergebnisse)

Tab. 2: Anforderungen an die Biogaszusammensetzung für alternative Verwertungswege zu Verbrennungsmotoren (PRECHNER, GOLISCH u. WICHMANN, 2000; WEILAND, 2000; KRAUTKREMER, 2003; GE-JENBACHER, 2004; FNR, 2004)

Anforderungen	CH <sub>4</sub> %	CO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> S ppm	NH <sub>3</sub> ppm	Wasser Taupunkt- temperatur
BHKW	> 45	< 55	< 200	< 40	k. A.
Rohgas	50-75	25-50	20-10.000	< 1%	35°C
Brenngas	> 40	30-50	< 1500	k. A.	k. A.
Gaseinspeisung (DVGW G 260)	> 96	-	< 3,3	-	< -5°C
Kraftstoff	> 96	< 3	< 3,3	k. A.	< -35°C
Brennstoffzelle		MCFC < 50 ppm	MCFC < 10	< 1	k. A.

### 2.3 Technologien zur Biogasaufbereitung

Aus dem Vergleich der Anforderungen an verschiedene Technologien zur Biogasverwertung und der Zusammensetzung von Biogas (Tab. 2) leitet sich ab, dass vor allem die Entschwefelung, die Trocknung und die Abscheidung von CO<sub>2</sub> im Vordergrund stehen. Bislang werden in der Praxis neben der Wasserabscheidung durch Kondensation Verfahren der Entschwefelung eingesetzt. In der Praxis ist das biologische Verfahren durch Luftfeinblasung in den Fermenter am weitesten-

ten verbreitet (ca. 99 % in Bayern). Unter optimalen Bedingungen kann eine Entschwefelungsrate von 95 % erzielt werden (SCHULZ, 1982).

Die Investitions- und Betriebskosten des Verfahrens sind sehr niedrig. Ein Risiko in der Praxis besteht darin, dass durch zu hohe Luftmengen der Sauerstoffüberschuss dazu führt, dass schwefelige Säure gebildet wird, die zu hohen Korrosionsraten an Betonbauteilen des Fermenters führen können. Entschwefelungseinrichtungen, welche die zugeführte Luftmenge nach der Gasproduktion und dem H<sub>2</sub>S-Gehalt regeln, schließen dieses Risiko aus.

Externe Entschwefelungseinrichtungen sollten ebenfalls auf die Gasproduktion und den H<sub>2</sub>S-Gehalt abgestimmt sein, da sonst bei hohen Produktionsraten eine Überlastung der Entschwefelung eintritt und der Gehalt im gereinigten Gas die gewünschten Grenzwerte übersteigt (Abb. 8).

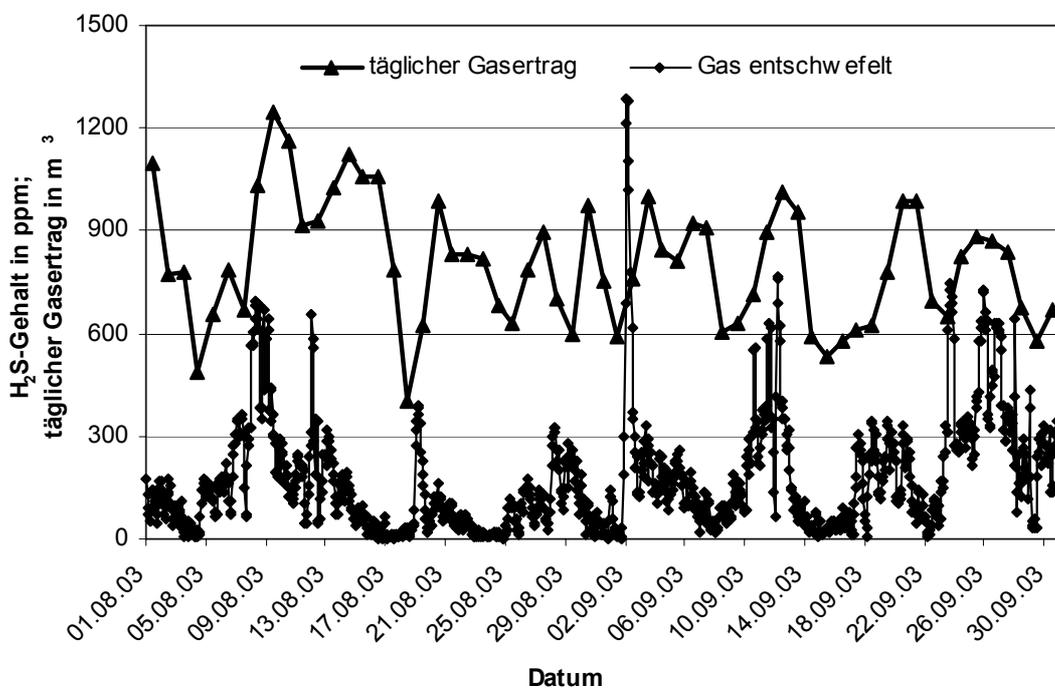


Abb. 8: Einfluss des täglichen Gasertrages auf den H<sub>2</sub>S-Gehalt nach der Entschwefelung

Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> spielt bislang in der Praxis noch keine Rolle, da sich entsprechende Technologien erst in der Entwicklungsphase befinden oder nur im großtechnischen Maßstab zur Verfügung stehen.

## 2.4 Alternativen zur Gasverwertung

Um die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit der Biogasverwertung zu steigern sind verschiedene Technologien in Entwicklung, die zum Teil auch schon im Pilotstadium auf Praxisanlagen eingesetzt werden (Abb. 9).

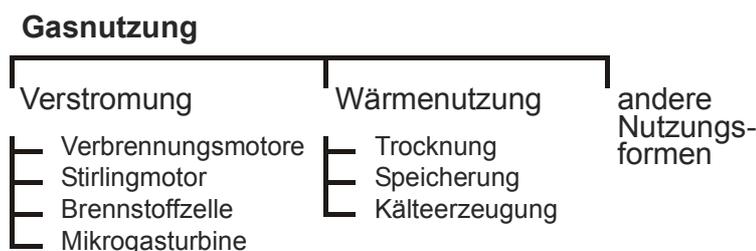


Abb. 9: Systematik der Gasnutzungsmöglichkeiten

Andere Nutzungsformen als in Abb. 10 beschrieben richten sich zunehmend auf den Einsatz von Biogas im Kraftstoffsektor, da Biogas anderen alternativen Kraftstoffen (Bioethanol aus Zuckerrübe oder Weizen sowie Rapsölmethylester) hinsichtlich des Energieertrages überlegen ist (FNR, 2004). Bis zu einer breiten Verfügbarkeit für die Praxis unter wirtschaftlich sinnvollen Rahmenbedingungen ist aber noch eine weitere Entwicklung und Optimierung notwendig (vgl. Abb. 11).

Kurzfristig für die Landwirtschaft umsetzbare Verbesserungen der Effizienz sind in der ganzjährigen Wärmenutzung zu suchen. Im Durchschnitt der landwirtschaftlichen Anlagen werden nur 5-20 % der nutzbaren Wärme verwertet, der Rest wird durch Kühlanlagen ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben. Beispiele von Wärmenutzungskonzepten umfassen einen weiten Bereich von Möglichkeiten, die sowohl auf der betrieblichen Ebene ansetzen können, wie z.B. die Kopplung von Biogasanlagen mit ganzjähriger Trocknung verschiedener Güter, als auch den Bereich der Biogasanlage von der Gasverwertung zu trennen, wie z.B. der Gastransport zu ganzjährigen Abnehmern (lokal). Alle Maßnahmen zur verbesserten Wärmeverwertung würden auch die Energie- und Ökobilanzen von Biogasanlagen entscheidend verbessern und den Effizienzgrad im Vergleich zu anderen regenerativen Energieträgern erhöhen (vgl. DÖHLER und RUIZ-LORBACHER, 2004).

Je nach Standortbedingungen für eine zukünftige Anlage kann auch der Transport des Biogases durch Gasleitungen an den Ort einer über das Jahr gesicherten Wärmeverwertung sinnvoll sein. In diesem Fall ist das BHKW auf der Biogasanlage ausschließlich nach dem Wärmebedarf der Anlage und des landwirtschaftlichen Betriebes auszulegen.

## 2.5 Weitere Optimierungsaufgaben

Eine nachhaltige Entwicklung für den Bereich landwirtschaftlicher Biogasanlagen kann aber nur sichergestellt werden, wenn neben ökonomischen Rahmenbedingungen auch eine umweltschonende Produktion erfolgt. Dazu gehören:

- Ausschluss von Risiken durch den Einsatz von Bioabfällen
- Standortangepasste Fruchtfolgegestaltung für NawaRo
- emissionsarme Anlagentechnik (Geruch, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> und CO)
- flächen- und ertragsorientierte Gärrestverwertung (Flächenbindung)
- hohe Energieeffizienz der gesamten Produktionskette
- positive Energie- und Ökobilanz.

Im Bereich der Anlagentechnik gilt es, durch entsprechende Optimierungen den Investitionsbedarf zu senken, sowie auch langfristig stabile Rohstoff- und Betriebskosten zu erreichen. Eine hohe und kontinuierliche Gasproduktion bei möglichst hohem Methangehalt gilt es für die Zukunft zu sichern und sukzessive auszubauen, um die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen weiter zu verbessern.

### 3 Ausblick

Die vorher beschriebenen Entwicklungstrends unterliegen je nach Intensität im Bereich der Forschung, Entwicklung und Umsetzung in die Praxis, des Anlagenbaus, des Anlagenbetriebs sowie Managements unterschiedlich langen Entwicklungszeiträumen (vgl. Abb. 10).

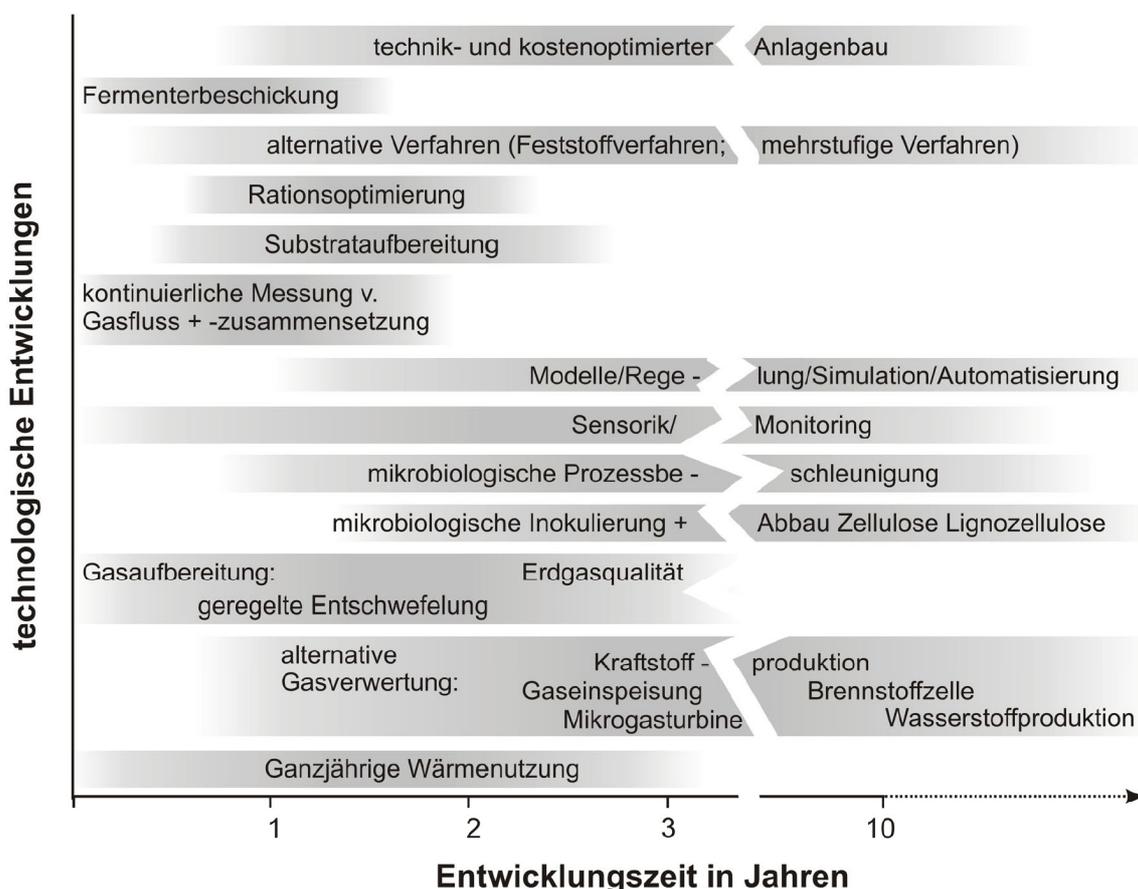


Abb. 10: Zeiträume für mittelfristig zu erwartende technologische Entwicklungen im Bereich Biogas bis zur Umsetzung in die Praxis

Eher langfristige Entwicklungen zielen in Richtung der mikrobiologischen Wasserstoffproduktion aus organischer Substanz, der Automatisierungstechnologie, der Kraftstoffproduktion oder auch der Produktion von anderen Rohstoffen mittels anaerober Mikroorganismen.

Der Sektor Anaerobtechnologie blickt auf eine sehr junge Entwicklungsphase zurück. Die Zukunft birgt noch weitreichende Entwicklungspotenziale, die es gilt nachhaltig und im Einklang mit ökologischen und ökonomischen Zielen nutzbar zu machen. Die vor uns liegenden Entwicklungen für die Praxis zu realisieren, bedarf auch zukünftig einer intensiven gemeinsamen Anstrengung von Politik, Administration, Forschung, Entwicklung, Beratung und Ausbildung, wie sie sich auf der Jahrestagung 2004 der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., des Institutes für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz sowie der Beratung und der Biogasbranche unter der Schirmherrschaft der Bayerischen Staatsminister für Landwirtschaft und Forsten sowie Umweltschutz, Gesundheit und Verbraucherschutz zusammengefunden haben.

## **Literaturverzeichnis**

BAYERISCHER AGRARBERICHT 2004: <http://www.stmlf.bayern.de/publikationen>.

DÖHLER, H. und F. RUIZ LORBACHER (2004): Stellung von Biogas im Vergleich der erneuerbaren Energiequellen, Tagungsband zur Jahrestagung am 9. Dezember 2004, LfL-Schrift, im Druck.

FACHVERBAND BIOGAS E.V. (2004): schriftliche Mitteilung.

FALL, P. A. D. (2002): FISH zur Überwachung von Biogasreaktoren. Promotionsarbeit. Bericht aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Nr. 172, Technische Universität München, ISSN 0942-914X.

FNR (HRSG.) (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Leipzig. 232 S.

FNR/KTBL (HRSG.) (2004): Fachgespräch Energiepflanzenanbau, FAL Braunschweig 25. und 26.02.2004.

GE-JENBACHER (2004): Handbuch zur Nutzung von Bio-, Klär- und Deponiegasen in GE-Jenbacher Gasmotoren. GE-Jenbacher.

GRONAUER, A. und V. ASCHMANN (2003): Wissenschaftliche Begleitung einer Pilotanlage zur Feststoffvergärung von landwirtschaftlichen Gütern. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, Landtechnische Berichte aus Praxis und Forschung, Gelbes Heft 77.

KAISER, F.; M. DIEPOLDER; J. EDER; S. HARTMANN; H. PRESTEL; R. GERLACH; G. ZIEHFREUND und A. GRONAUER (2004): Biogaserträge verschiedener nachwachsender Rohstoffe. Landtechnik, Heft 4, 59. Jhrg., S. 224-225.

KRAUTKREMER, B. (2003): Anforderungen an die Qualität von Biogas beim Einsatz von Mikrogasturbinen“. In: Gülzower Fachgespräche, Workshop: „Aufbereitung von Biogas“. 17./18. Juni 2003, Braunschweig. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Band 21, S. 53-59.

LEBUHN, M.; M. EFFENBERGER; G. GARCÉS; A. GRONAUER and P.A. WILDERER (2004): Evaluating Real-Time PCR for the Quantification of Distinct Pathogens and Indicator Organisms in Environmental Samples. *Water Sci. Tech.* 50/1, S. 263-270.

PRECHNER, K.; J. GOLISCH und V. WICHMANN (2000): BHKW-Module bei Biogasanlagen – Entwicklungen und zukünftige Trends. In: Gülzower Fachgespräche „Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial“. 26./27. Oktober 2000, Weimar. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) mit Förderung des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Band 15, S. 87-100.

RAIZADA, N. (2004): Application of molecular-biological method for optimization of anaerobic reactors. PhD thesis. Bericht aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft Nr. 182, Technische Universität München, ISSN 0942-914X.

SCHULZ, H. , A. PERWANGER und H. MITTERLEITNER (1982): Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft. Endbericht des Landtechnischen Vereins in Bayern e.V. München.

SCHWARZ, W.H. (2001): The cellulosome and cellulose degradation by anaerobic bacteria. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 56: S. 634-649.

SCHWARZ, W. H. (2003): Das Cellulosom – Eine Nano-Maschine zum Abbau von Cellulose. *Naturwiss. Rundschau* 56: S. 121-128.

SCHWARZ, W. H. (2003): The cellulases and their application in degrading agro-industrial waste (Las cellulasa y su aplicación en la degradación de desechos agroindustriales). *Revista Colombiana de Biotecnología* 4: S. 6-13.

SCHWARZ, W. H. (2004): Cellulose – Struktur ohne Ende. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 8: S. 443-445.

WEILAND, P. (2000): Notwendigkeit der Biogasaufbereitung. In *Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland*. Gülzower Fachgespräche Bd. 15, Rostock. S. 8-27.