Nutzung von Feldfrüchten zur Biogasgewinnung

Use of Crops for Biogas Production

Bernd Linke, Klaus Baganz und Ralf Schlauderer
Institut für Agrartechnik Bornim ATB, Potsdam

Kurzfassung: Immer mehr Landwirte entscheiden sich zur Behandlung von Gülle und zur Substitution fossiler Energieträger für den Bau einer Biogasanlage. Neben Gülle kann der Landwirt aber auch darüber entscheiden, ob er Feldfrüchte für die Biogasgewinnung einsetzt. Die Bereitstellung dieser Substrate ist jedoch mit Kosten belastet, die über Erlöse aus der Biogasgewinnung abgedeckt werden müssen. Um eine Übersicht zur Wirtschaftlichkeit einer solchen Nutzung von Feldfrüchten zu erhalten, wurden spezifische Methanerträge auf der Grundlage des Gehaltes an Kohlehydraten, Proteinen und Fetten ermittelt sowie betriebliche Bereitstellungskosten zur Produktion ausgewählter Feldfrüchte berechnet. Die Anlagenkosten bleiben dabei unberücksichtigt. Aus der zur Zeit weit verbreiteten Nutzung des Biogases in einem BHKW errechnet sich ein Grenzwert der energiebezogenen Substratbereitstellungskosten von etwa 0,05 DM/kWh Bruttoenergie produziertes Methan. Eine Unterschreitung dieses Wertes und damit der Nachweis der Wirtschaftlichkeit ist bei Nebenprodukten wie Stroh oder Blattsilage gegeben. Luzerne, Mais oder Getreide-Ganzpflanzensilage bewegen sich ohne Beihilfen an der Grenze und mit Beihilfe im Bereich der Wirtschaftlichkeit.
Deskriptoren: Biogas, anaerober Abbau, Feldfrüchte, Betriebskosten

Abstract: *An increasing number of farmers prefer the use of biogas plants not only for slurry treatment, but also to save fossil energy. Apart from slurry, the farmer also has the opportunity of using crops for biogas production. However, crop production is burdened with costs that will have to be covered by proceeds from the biogas utilisation. Specific methane yields based on the content of carbohydrates, proteins and fats, as well as the expenses for crop production, have been calculated in order to obtain an overall view of the cost-effective use of selected crops for biogas production. The costs of building the biogas plant have not been considered yet. A limit to energy-related substrate costs of 0.05 DM/kWh for gross energy production on the basis of methane has been calculated considering the wide use of biogas in power generation stations. Costs below this limit and thereby economic viability were observed when by-products like straw and silage from turnip foliage were used. For clover, corn silage and whole plant cereal silage, production is close to break-even and cost effectiveness can be achieved with subsidies*
Keywords: *Biogas, anaerobic digestion, crops, running costs*

1 Einleitung

Im Bereich der Landwirtschaft werden derzeit etwa 500 Biogasanlagen betrieben [1], die vor allem Gülle vergären. Die Erschließung eines regenerativen Energieträgers in Form von Biogas und die deutliche Qualitätsverbesserung der ausgefaulten Gülle sind wesentliche Bestimmungsgründe für den Bau solcher Anlagen. Hinzu kommt, daß durch die Mitbehandlung betriebsfremder organischer Abfälle aus der Biotonne, Fettabscheiderinhalte oder Abfälle aus der Lebensmittelindustrie die Leistungsfähigkeit der Biogasanlage gesteigert werden kann [2-4] und gleichzeitig zusätzliche Erlöse erzielbar sind.

Im Hinblick auf eine CO_2-neutrale Energieproduktion können aber auch Feldfrüchte oder landwirtschaftliche Nebenprodukte für eine Biogasproduktion herangezogen, und damit die Energiegewinnung unabhängig von der Entsorgungswirtschaft gestaltet werden. Entscheidend für die Umsetzung eines solchen Konzeptes in die Praxis sind die Bereitstellungskosten für die Pflanzen. Für wichtige landwirtschaftliche Haupt- und Nebenprodukte sollen beispielhaft nach einheitlicher methodischer Grundlage mögliche Methanerträge und die

für solche Substrate anfallenden betrieblichen Kosten ermittelt und Schlußfolgerungen für eine Energieerzeugung nach diesem Konzept abgeleitet werden.

2 Material und Methoden

Um eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Kulturen als Substrat für die Biomethanisierung zu erreichen, erfolgte die Ermittlung der Methanerträge auf der Grundlage der in Standardwerken angegebenen Inhaltsstoffe. Bei der Kostenermittlung wurden die Ertragsniveaus verschiedener Landbaugebiete berücksichtigt sowie eine umfangreiche Datensammlung für die Betriebsplanung herangezogen.

2.1 Methanerträge

Die in pflanzlichen Biomassen vorkommenden Stoffgruppen lassen sich in Kohlenhydrate, Fette und Proteine unterteilen. Für diese drei Stoffgruppen sind theoretische Biogasausbeuten und Methangehalte bekannt [5], die sich auch auf die Inhaltsstoffe der Futtermittelanalysen [6] übertragen lassen. (**Tabelle 1**). In allgemeiner Form läßt sich die auf die Trockensubstanz (TS) bezogenen Methanausbeute schreiben (Gl. 1).

$$y_{CH_4}^{TS} = \sum_{i=1}^{5} (c_i \cdot y_i) \qquad (1)$$

$y_{CH_4}^{TS}$ auf Trockensubstanz bezogene Methanausbeute (l/kg)

c_i Konzentration des Inhaltsstoffes i in der Produkt-Trockensubstanz (g/kg)

y_i spezifische Methanausbeute (Normzustand) für den Inhaltsstoff i (l/g)

Da Methan bei der Zersetzung organischer Substanz entsteht, wird die Methanausbeute häufig auf die organische Trockensubstanz (oTS) bezogen, die sich als Differenz aus TS und Rohasche ergibt (Gl. 2).

$$y_{CH_4}^{oTS} = y_{CH_4}^{TS} / (1 - 0{,}01 \cdot c_{RA}) \qquad (2)$$

$y_{CH_4}^{oTS}$ auf organische Trockensubstanz bezogene Methanausbeute (l/kg)

c_{RA} Rohaschegehalt in der Produkt-Trockensubstanz (%)

Praxisnah ist neben der TS und oTS auch die Verwendung der Frischmasse als Bezugsgröße für die Methanausbeute, die sich entsprechend darstellen läßt (Gl. 3).

$$y_{CH_4}^{FM} = 0{,}01 \cdot g_{TS} \cdot y_{CH_4}^{TS} \qquad (3)$$

$y_{CH_4}^{FM}$ auf Frischmasse bezogene Methanausbeute (l/kg)

g_{TS} Trockensubstanzgehalt (%)

Flächenbezogene Werte der Methanausbeute erhält man, wenn der Frischmasseertrag mit der zugehörigen Methanausbeute multipliziert wird (Gl. 4). Da die geerntete Frischmasse für eine Biogaserzeugung nicht in vollem Umfang in Ansatz gebracht werden kann, sind Lagerverluste zu berücksichtigen, die zu einer Netto-Ausbeute führen (Gl. 5).

$$A_{CH_4}^{bru} = e_{FM} \cdot y_{CH_4}^{FM} \qquad (4)$$

$A_{CH_4}^{bru}$ auf Frischmasse und Fläche bezogene (Brutto-) Methanausbeute (m³/ha)

e_{FM} Frischmasseertrag (t/ha)

$$A_{CH_4}^{net} = (1 - 0{,}01 \cdot v_{TS}) \cdot A_{CH_4}^{bru} \qquad (5)$$

$A_{CH_4}^{net}$ flächenbezogene (Netto-) Methanausbeute unter Berücksichtigung von Lagerverlusten (m³/ha)

v_{TS} Lagerverluste bezogen auf Trockensubstanz (%)

Tabelle 1: Biogas- und Methanausbeuten verschiedener Stoffgruppen
Table 1: Biogas and methane yields from different compounds

i	Inhaltsstoffe	Biogasausbeute l/g TS	CH_4-Gehalt %	Methanausbeute l/g TS
1	Rohasche	0	-	-
	Kohlenhydrate			
2	N-freie Extraktstoffe	0,8	50	0,4
3	Rohfaser	0,8	50	0,4
4	Rohfett	1,2	67	0,8
5	Rohprotein	0,7	70	0,5

Tabelle 2: Spezifische Methanausbeuten für ausgewählte landwirtschaftliche Produkte, Berechnung aus Analysenwerten nach [6]
Table 2: Specific methane yields for selected crops, calculated from analysis according [to 6]

Parameter	Dim.	Winter-Roggen	Roggen-stroh	Silo-mais	W.Gerste GPS	Gras-Welksil.	Hanf-Silage
Frischmasse Verluste	%	2,0	5,0	9,0	9,0	15,0	9,0
Trockensubstanz	%	88	86	35	37	35	30
Rohasche	% TS	2,1	5,8	4,5	6,7	11,9	9,0
N-freie Extraktstoffe	% TS	82,2	42,0	64,1	55,9	42,9	46,5
Rohfaser	% TS	2,7	47,2	20,1	25,6	28,1	38,0
Fette	% TS	1,8	1,3	3,2	2,2	3,9	0,5
Proteine	% TS	11,2	3,7	8,1	9,6	13,2	6,0
Methanausbeuten	l/kg TS_b [1)]	410	386	403	392	381	372
	l/kg FM_b	361	332	141	145	133	112
	l/kg FM_n [2)]	354	315	128	132	113	102
	l/kg oTS_b	419	409	422	420	433	409

1) brutto, ohne Lagerverluste
2) netto, einschließlich Lagerverluste

Auf der Grundlage der in der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer angeführten Analysenwerte [6] lassen sich nun für ausgewählte Feldfrüchte und Nebenprodukte Methanausbeuten für Frischmasse (FM), TS und oTS ohne (brutto) und unter Berücksichtigung von Lagerungsverlusten ermitteln (**Tabelle 2**).

Bei Triticalestroh wurden Mittelwerte aus den Tabellenwerten für Weizen und Roggen gebildet. Für Ganzpflanzensilage (GPS) aus Gerste sind Mittelwerte aus 30 und 50% Kornanteil benutzt worden, für Triticale-GPS entsprechende Werte für Weizen-GPS. Da für Hanf bzw. Hanfsilage keine Werte aus Futtermittelanalysen zur Verfügung standen, wurden hier gerundete Werte aus Laboranalysen des ATB angesetzt.

Die verwendeten Werte für Trockensubstanzgehalt und Lagerverluste wurden im wesentlichen der „Datensammlung für die Betriebsplanung und betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg" [7] entnommen, ferner fanden Veröffentlichungen des KTBL [8] und für Hanf eine weitere Quelle aus Brandenburg [9] Verwendung.

Diese theoretisch berechneten Werte sind als Maximalwerte zu verstehen, die in der Praxis nicht in vollem Umfang erreicht werden können. Bisher liegen eine Vielzahl experimenteller Untersuchungen für diverse landwirtschaftliche Produkte vor [2]. Für Rübenblätter und Klee wird z.B. eine Methanausbeute von 400 bis 500 l/ kg oTS angegeben, die zwischen 93 und 116% des theoretischen Wertes liegt. Unter praktischen Bedingungen sind jedoch nicht mehr als 90% des theoretischen Wertes zu erwarten. Bei Gras z.B. wurde eine Biogasausbeute von 557 l/kg oTS gemessen [10], die sich auf 362 l CH_4 / kg oTS bei 65% Methan reduziert und damit nur 85% des theoretischen Wertes beträgt.

2.2 Betriebliche Bereitstellungskosten

Die Kostenberechnungen erforderten einige abgrenzende Festlegungen. Regional wurde von den Bedingungen des Landes Brandenburg ausgegangen. Durchschnittliche (mittlere) Bedingungen für Brandenburg sind mit dem Landbaugebiet (LBG) III (Roggen-Kartoffel-Böden, Ackerzahl 29 bis 35) dargestellt. Für andere Bundesländer kann das LBG I (Weizen-Zuckerrüben-Böden, Akkerzahl > 45) herangezogen werden, das in Brandenburg mit etwa 7 % der Ackerfläche im wesentlichen schwere Alluvial- und Diluvial-Standorte umfaßt.

Technologisch sollten mit den Berechnungen einerseits alle Arbeitsgänge erfaßt werden, die im Pflanzenbau für die Anlieferung des Substrates an die benachbarte Methanisierungsanlage erforderlich sind, andererseits sollte eine möglichst ganzjährige Versorgung der Methanisierungsanlage mit den gleichen Produkten erreicht werden. Damit waren Prozesse der Lagerung (Schüttlager, Silo, Miete) sowie der Ein- und Auslagerung in die Betrachtungen einzubeziehen. Lediglich für 2 Kulturen (Luzerne und Futterroggen) wurde von diesem Grundsatz abgewichen und hier zu Vergleichszwekken von einer Grüngutverwendung ausgegangen.

Fortsetzung Tabelle 2 Spezifische Methanausbeuten für ausgewählte landwirtschaftliche Produkte, Berechnung aus Analysenwerten nach [6]
Table 2: Specific methane yields for selected crops, calculated from analysis according [to 6]

Parameter	Dim.	Luzerne-Grüngut	Futterrog. Grüngut	Futterrübe Masse-Typ	Futterrübe Gehalt-Typ	Futterrübe Blattsilage
Frischmasse Verluste	%	6,0	5,0	15,0	15,0	15,0
Trockensubstanz	%	23	17	12	15	16
Rohasche	% TS	10,1	8,8	10,1	8,3	18,1
N-freie Extraktstoffe	% TS	36,9	44,2	73,2	76,9	51,4
Rohfaser	% TS	32,7	28,8	6,9	6,4	12,5
Fette	% TS	2,8	3,5	0,9	0,7	2,3
Proteine	% TS	17,5	14,7	8,9	7,7	15,7
Methanausbeuten	l/kg TS_b [1]	388	394	372	377	353
	l/kg FM_b	89	67	45	57	56
	l/kg FM_n [2]	84	64	38	48	48
	l/kg oTS_b	432	431	414	411	430

1) brutto, ohne Lagerverluste
2) netto, einschließlich Lagerverluste

Als Kostenrahmen fand bei den Berechnungen die in der „Datensammlung für die Betriebsplanung ..." [7] angewandte Methode der sich aus den Faktoransprüchen ergebenden Gesamtkosten (variable Kosten: Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel, variable Maschinenkosten, Zinsansatz für Umlaufkapital; weitere zurechenbare Kosten: Lohn, Maschinenfestkosten, Pachten und sonstige flächengebundene Kosten) Verwendung. Zur Anpassung an die oben angeführte technologische Abgrenzung waren fallweise Kosten für Lagerungsarbeiten hinzuzufügen zu den angeführten summierten Werten für die „Gesamtkosten Feldarbeit". Um die in diesem Rahmen noch nicht erfaßten Kosten für allgemeine Betriebsführung und Betriebsbereitschaft einzubeziehen, wurde bei allen Hauptprodukten 100 DM/ha als „allgemeine Betriebsgemeinkosten" für einen größeren Betrieb (>500 ha) angesetzt. Die als Summe aus Gesamtkosten Feldarbeit, zusätzlichen Lagerungskosten und allgemeinen Betriebsgemeinkosten resultierenden „betrieblichen Gesamtkosten" beinhalten somit die im Betrieb für das jeweilige Produkt anfallenden Kosten. Sie stellen damit für den landwirtschaftlichen Betrieb eine kostendeckende Bezugsbasis für Preisverhandlungen dar, die aber noch keine Gewinne beinhaltet.

Die üblicherweise bei den Leistungen einbezogenen Flächenprämien wurden als negativer Kostenfaktor behandelt, d.h. sie wurden von der Kostensumme in Abzug gebracht. Neben einem Ansatz ohne Flächenprämien sind im weiteren die für die Agenda 2000 diskutierten Flächenzahlungen ab 2001/02 (Stand 04/99) [11] einbezogen. Für LBG III ist die Beihilfengruppe Brandenburg 2, für LBG I Brandenburg 1 angesetzt. Für die einzelnen betrachteten landwirtschaftlichen Produkte wurde auf Daten aus [8], [9] und [12] zurückgegriffen, und die Randbedingungen für die Feldfrüchte und Nebenprodukte spezifiziert (**Tabelle 3**). Bei Silagen erfolgte die Berechnung der FM-Erträge - soweit vorhanden - aus den in [7] angegebenen FM-Verlusten, TS-Gehalten und TS-Erträgen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Ermittlung der Methanausbeute und zur Bestimmung der betrieblichen Bereitstellungskosten für zwei Beihilfe-Varianten und zwei betrachtete Landbaugebiete (**Tabelle 4**) zeigen, daß die betrieblichen Bereitstellungskosten wesentlich davon abhängig sind, ob mit oder ohne Beihilfen produziert wird. Mit Ausnahme der Getreidepflanzen (Wintergetreide, Silomais- und Ganzpflanzen-Silage) sind nennenswerte Beihilfen nur über den Anbau auf Stillegungsflächen mit den daraus resultierenden zusätzlichen Verwaltungsaufwendungen zu erhalten.

Als Grundlage für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Nutzung der betrachteten Feldkulturen zur Biomethanisierung soll die zur Zeit weit verbreitete Produktion von Elektroenergie durch ein mit dem erzeugten Gas betriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) herangezogen werden. Mit einem Anteil von etwa 1/3

Tabelle 3: Randbedingungen für die Ermittlung der betrieblichen Bereitstellungskosten
Table 3: Boundary conditions for calculation of running costs

Feldfrüchte	Randbedingungen
Wintergetreide	LBG I für Wintertriticale und LBG III für Winterroggen, Lagerkosten (einschl. Ein- und Auslagerung) 30 DM/t, Beihilfen für Hauptfrucht und Nutzung von Stillegungsflächen angesetzt,
Stroh	Nur Berücksichtigung der reinen Bergungskosten ohne anteilige Kosten am Hauptprodukt sowie ohne allgemeine betriebliche Gemeinkosten und Beihilfen, bei Verbleib auf dem Feld sonst verwertbarer Pflanzennährstoffe wurden als Kosten mit 11,7 DM/t FM in Rechnung gestellt und in der Zeile „allg. Betr. Gem.K." ausgewiesen, für Auslagerung von Strohballen 2,5 DM/t FM und als Verluste analog zum Grüngut 5% angesetzt,
Silomais	Ergänzung der Kosten entsprechend um Kosten für die Auslagerung von 3,5 DM/t, Einbeziehung der Beihilfen für Biomasse zur Energiegewinnung auf Stillegungsflächen und als Hauptkultur,
Ganzpflanzensilage (GPS)	Wintergerste für LBG I und Triticale für LBG III gewählt, Auslagerungskosten und Beihilfen entsprechen denen von Silomais,
Graswelksilage	Gesamtkosten der Feldarbeit entsprechen für LBG I „Ertragsklasse I, 4 Schnitte" und für LBG III „Ertragsklasse II, 3 Schnitte" bei 3,5 DM/t für die Auslagerung, keine Beihilfen für dieses Produkt, Frischmasseverluste mit 15% berücksichtigt,
Hanfsilage	Verfahren 8 für LBG I und Verfahren 2 für LBG III, Umrechnung der angesetzten TS-Erträge von 6 bzw. 7 tTS/ha auf Analysenwerte, Beihilfen als Biomasse auf Stillegungsflächen berücksichtigt,
Luzerne-Grüngut	Einsatz in frischem Zustand für 3-4 Schnitte jährlich, Beihilfe bei energetischer Nutzung für mehrjährige Stillegungsflächen ist zu erwarten,
Futterroggen-Grüngut	Grüngut-Nutzung unterstellt, bei Ernte in der 1. Maihälfte Flächenprämie gemäß Richtlinie zur Förderung bodenschonender und erosionsmindernder Verfahren möglich,
Futterrüben	Erträge aus 70 t/ha für Runkelrüben in Brandenburg als langjähriger Ertrag abgeleitet, Kosten der Ein- und Auslagerung in Mieten 5,0 DM/t, Beihilfe auf Stillegungsflächen berücksichtigt,
Futterrüben-Blattsilage	Durch Nutzung des Sickersaftes für die Biogasgewinnung nur 15% statt 30% Frischmasseverluste unterstellt, Kostenberechnung analog der für Stroh als Koppelprodukt, Maschinenkosten und Arbeitskraftaufwendungen für die Bergung entsprechend Arbeitsgang KTBL-Nr. 5511 (20 ha), 10 DM/t FM für Silolagerung einschließlich Ein- und Auslagerung, Nährstoffverluste durch Nichtnutzung als Ernterückstand mit 3,7 DM/t FM angesetzt.

der aufgewandten Bruttoenergie des Biogases als Elektroenergie und 2/3 Wärme, die als Prozeßenergie und für andere Zwecke im Niedertemperaturbereich genutzt werden kann, ergibt sich ein Erlös durch Netzeinspeisung des elektrischen Stromes von etwa 0,15 DM/kWh bzw. bei Eigennutzung von etwa 0,20 DM/kWh.

Aus einem Kubikmeter Methan mit einem Energiegehalt von 10 kWh kann damit bei der Erzeugung und Netzeinspeisung von elektrischer Energie ein Erlös von 0,15 DM/kWh · 3,3 kWh = 0,49 DM erzielt werden. Bezogen auf den Bruttoenergiegehalt des Methans ergibt sich hieraus ein Vergleichswert für die in einem Kubikmeter Methan enthaltene Energie von 0,05 bis 0,06 DM/kWh, der etwa dem Preis für den Bezug von Erdgas in Haushalten entspricht.

Rechnet man die Substratbereitstellungskosten je Kubikmeter Methan auf die darin enthaltenen Bruttoenergie um und stellt diesen energiebezogenen Substratbereitstellungskosten dem genannten Wert von 0,05 DM/kWh gegenüber, erhält man einen Vergleich der energiebezogenen Kosten für die untersuchten Feldfrüchte (**Bild 1**). Da bei dieser Kalkulation keine Gewinnspanne aus dem Feldbau und keine Anlagenkosten für die Biogasanlage enthalten sind, wird für Produkte, die oberhalb des Vergleichswertes liegen, eine Wirtschaftlichkeit unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen kaum nachzuweisen sein. Ferner ist darauf hinzuweisen, daß nur 80 bis 90% der theoretischen Methan-

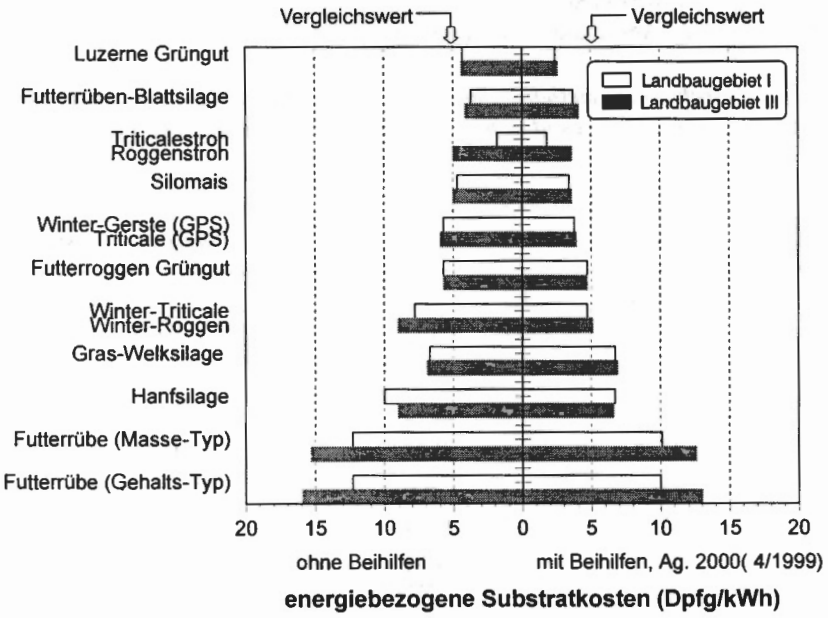


Bild 1: Energiebezogene Substratkosten für ausgewählte Feldfrüchte
Fig 1: Energy-related substrate costs for selected crops

erträge (Tab. 2) unter praktischen Bedingungen erreichbar sind. Auf der anderen Seite können Erlöse aus der Nutzung der Abwärme aus dem BHKW von etwa 30% der Bruttoenergie eintreten, die bei ganzjähriger Nutzungsmöglichkeit einem zusätzlichen Betrag von etwa 0,02 DM/kWh entsprechen würden. Diese Einschränkungen gelten jedoch für alle Produkte.

Die Nebenprodukte Stroh und Rübenblattsilage - bei der gewählten Berechnung nur durch Bergungs- und Lagerkosten sowie Nährstoffverluste belastet - sind in allen Varianten kostengünstig. Bei höheren Blatterträgen als angesetzt, könnte über Rübenblattsilage ein noch deutlicher Abstand zu dem Vergleichswert (0,05 DM/kWh) erreicht werden.

Günstige Werte sind auch bei der Grüngutnutzung von Luzerne erreichbar, sie haben deutlichen Abstand zum Vergleichswert aber nur mit Stillegungsbeihilfen. Futterroggen als Grüngut hat im Zwischenfruchtanbau zu geringe Erträge, um mit den hierfür möglichen Beihilfen (bodenschonende Verfahren) in den Kostenbereich der Luzerne zu gelangen. Die Getreidepflanzen liegen als Gesamtsilagen (mit Beihilfen) deutlich unter dem Vergleichswert. Die Nutzung von Getreidekorn wies dagegen vergleichsweise nicht so günstige Werte auf. Hanf führt als Substrat-Grundstoff aufgrund der angesetzten Trockensubstanzerträge und Aufwendungen zu relativ hohen spezifischen Kosten. Aufgrund der hier nur möglichen Stillegungsbeihilfen ist erst bei TS-Erträgen über 10 t/ha zu erwarten, daß der angeführte Zielbereich der Kosten erreicht wird. Wiesengrassilage bringt mit der Annahme beihilfefreien Anbaus zu hohe spezifische Kosten. Für einen mit Stillegungsbeihilfen unterstützen Anbau von Gräsern wären Werte wie etwa für Ganzpflanzensilage zu erwarten. Die Futterrüben sind - wie Rodefrüchte allgemein - mit relativ hohen Gesamtkosten für den Feldbau belastet. Ob unter günstigen Anbaubedingungen für diese Hauptkultur ein deutlicher Abstand zum Vergleichswert erreichbar ist, erscheint nach den Werten für LBG I auch unter Berücksichtigung von Beihilfen fraglich.

Die durchgeführten Berechnungen ermöglichen auch eine gewisse Verallgemeinerung, die zu einer Rohabschätzung der Substratbereitstellungskosten und damit zu einer Entscheidung über die Nutzung einer Kultur zur Kofermentation genutzt werden kann.

Der Netto-TS-Ertrag (NTE in t/ha) einer Kultur würde sich aus dem (Brutto-) Frischmasse-Ertrag (FME in t/ha) unter Einbeziehung der FM-Verluste (FMV in %) während der Bergungs- und Lagerungsprozesse und unter Berücksichtigung des TS-Gehaltes (TS in %) entsprechend Gl. 7 ergeben. Bei 10 kWh/ m^3 Methan und einer Methanausbeute von 390 l/kg TS (gerundeter Mittelwert mit Werten aus Tab. 2 für Verluste und Brutto-Methanausbeute) ergibt sich eine energiebezogene Substratkonstante K von 3900 kWh/t TS.

$$NTE = FME \cdot 0{,}01 \cdot TS\,(1 - 0{,}01 \cdot FMV) \qquad (7)$$

Tabelle 4: Spezifische Substratkosten für einige landwirtschaftliche Produkte (Bezug: Methanausbeute) in Brandenburg, Landbaugebiet I:Weizen-Zuckerrüben-Böden, Ackerzahl > 45 Landbaugebiet III: Roggen-Kartoffel-Böden, Ackerzahl 29 ... 35

Table 4: Specific substrate costs for some crops (reference: methane yield) in the State of Brandenburg, yield potential area I: wheat-sugarbeet-soils, field valuation index >45; yield potential area III: rye-potato-soils, field valuation index 29...35

Landbaugebiet I Brandenburg	Dim.	Winter-Triticale	Triticale-stroh	Silo-mais	W.Gerste GPS	Gras-Welksil.	Hanf-silage
FM-Ertrag	t/ha	6,0	4,3	40,0	27,0	25,7	20,0
Methanausbeute	$m^3 CH_4$/ha	2137	1341	5133	3560	2915	2031
Ohne Beihilfen							
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	1677	247	2395	2037	1989	2030
Spez. Substratkosten	DM/$m^3 CH_4$	0,78	0,18	0,47	0,57	0,68	1,00
Mit Beihilfen Agenda 2000 (4/99)		P,S		P,S	P,S		S
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	1005	247	1723	1365	1989	1358
Spez. Substratkosten	DM/$m^3 CH_4$	0,47	0,18	0,34	0,38	0,68	0,67

Landbaugebiet III Brandenburg	Dim.	Winter-Roggen	Roggen-stroh	Silo-mais	Triticale GPS	Gras-Welksil.	Hanf-silage
FM-Ertrag	t/ha	4,0	3,2	31,7	20,8	20,0	23,0
Methanausbeute	$m^3 CH_4$/ha	1414	1008	4068	2733	2268	2336
Ohne Beihilfen							
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	1275	206	2025	1615	1554	2093
Spez. Substratkosten	DM/$m^3 CH_4$	0,90	0,20	0,50	0,59	0,69	0,90
Mit Beihilfen Agenda 2000 (4/99)		P,S		P,S	P,S		S
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	718	206	1468	1058	1554	1536
Spez. Substratkosten	DM/$m^3 CH_4$	0,51	0,20	0,36	0,39	0,69	0,66

Bemerkungen:

Hanfsilage: Angepaßte Werte aus „Hanf in Brandenburg 1995" LBG I: Verf. 8; LBG III: Verf. 2
FM-Erträge mit dort ermittelten TS-Erträgen (6 bzw. 7 t/ha) und TS aus Analysenwerten (ATB) hochgerechnet.

Beihilfen: P Flächenzahlung Getreide F Flächenstillegung B Bodenschonende Verfahren

Methanausbeute; Kosten: Tabellenwerte gerundet

spez. Substratkosten: Der Heizwert von 1 m^3 Methan (35,8 MJ) entspricht annähernd 10 kWh

Die energiebezogenen Substratbereitstellungskosten (SBK in DM/kWh) lassen sich nun in Abhängigkeit von den betrieblichen Bereitstellungskosten (BBK in DM/ha), der energiebezogenen Substratkonstante K, und dem Netto-TS-Ertrag (NTE in t/ha) entsprechend Gl. 8 sowie unter Berücksichtigung des Frischmasseertrages (FME in t/ha) dem TS-Gehalt der Kulturen und Nebenprodukte (TS in %) und den Frischmasseverlusten (FMV in %) nach Gl. 9 darstellen.

$$SBK = BBK / K \cdot NTE \quad (8)$$

$$SBK = BBK / (K \cdot FME \cdot 0{,}01 \cdot TS)\,(1 - 0{,}01 \cdot FMV) \quad (9)$$

Auf diese Weise ist bei Kenntnis der zu erwartenden Erträge und der Kosten eine Grobabschätzung der für eine Biomethanisierung in Frage kommenden Kulturpflanzen bzw. ihrer Nebenprodukte möglich. Wählt man wieder als Vergleichswert für die energiebezogenen Substratbereitstellungskosten 0,05 DM/kWh, entfallen solche Pflanzen für die Biomethanisierung, die höhere Kosten aufweisen. (**Bild 2**).

4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden heute überwiegend mit wirtschaftseigenen Düngern oder im

Fortsetzung Tabelle 4: Spezifische Substratkosten für einige landwirtschaftliche Produkte (Bezug: Methanausbeute) in Brandenburg, Landbaugebiet I:Weizen-Zuckerrüben-Böden, Ackerzahl > 45 Landbaugebiet III: Roggen-Kartoffel-Böden, Ackerzahl 29 ... 35

Table 4: Specific substrate costs for some crops (reference: methane yield) in the State of Brandenburg, yield potential area I: wheat-sugarbeet-soils, field valuation index >45; yield potential area III: rye-potato-soils, field valuation index 29...35

Landbaugebiet I Brandenburg	Dim.	Luzerne Grüngut	Futterrog. Grüngut	Futterrübe Masse-Typ	Futterrübe Gehalt-Typ	Futterrübe Blattsilage
FM-Ertrag	t/ha	43,2	18,7	80,0	60,0	25,0
Methanausbeute	m^3 CH_4/ha	3627	1188	3036	2886	1199
Ohne Beihilfen						
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	1547	677	3742	3546	448
Spez. Substratkosten	DM/m^3 CH_4	0,43	0,57	1,23	1,23	0,37
		S	B	S	S	
Mit Beihilfen Agenda 2000 (4/99)						
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	875	557	3070	2874	448
Spez. Substratkosten	DM/m^3 CH_4	0,24	0,47	1,01	1,00	0,37

Landbaugebiet III Brandenburg	Dim.	Luzerne Grüngut	Futterrog. Grüngut	Futterrübe Masse-Typ	Futterrübe Gehalt-Typ	Futterrübe Blattsilage
FM-Ertrag	t/ha	36,4	18,7	55,0	40,0	20,0
Methanausbeute	m^3 CH_4/ha	3056	1188	2087	1924	959
Ohne Beihilfen						
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	1340	677	3191	3050	395
Spez. Substratkosten	DM/m^3 CH_4	0,44	0,57	1,53	1,59	0,41
		S	B	S	S	
Mit Beihilfen Agenda 2000 (4/99)						
Betr. Gesamtkosten	DM/ha	783	557	2634	2493	395
Spez. Substratkosten	DM/m^3 CH_4	0,26	0,47	1,26	1,30	0,41

Bemerkungen:

Hanfsilage:	Angepaßte Werte aus „Hanf in Brandenburg 1995" LBG I: Verf. 8; LBG III: Verf. 2 FM-Erträge mit dort ermittelten TS-Erträgen (6 bzw. 7 t/ha) und TS aus Analysenwerten (ATB) hochgerechnet.
Beihilfen:	P Flächenzahlung Getreide F Flächenstillegung B Bodenschonende Verfahren
Methanausbeute; Kosten:	Tabellenwerte gerundet
spez. Substratkosten:	Der Heizwert von 1 m^3 Methan (35,8 MJ) entspricht annähernd 10 kWh

Gemisch mit betriebsfremden organischen Reststoffen beschickt. Darüber hinaus können aber auch Feldfrüchte oder landwirtschaftliche Nebenprodukte für eine Biogasproduktion genutzt werden. Für eine Bewertung dieses Konzeptes ist es notwendig, die Bereitstellungskosten dem zu erwartenden Nutzen durch die Biogasgewinnung gegenüberzustellen. Für wichtige landwirtschaftliche Haupt- und Nebenprodukte wurden deshalb beispielhaft nach einheitlicher methodischer Grundlage mögliche Methanerträge und die für solche Substrate anfallenden betrieblichen Kosten ermittelt. Die Anlagenkosten einer Biogasanlage blieben dabei unberücksichtigt.

Die Berechnungen haben erhebliche Unterschiede bei den Substratbereitstellungskosten ergeben, so daß die Biomethanisierung nicht generell empfohlen werden kann. Bevorzugt kommen für eine derartige Verwendung Nebenprodukte des Pflanzenbaus wie etwa Getreidestroh oder Futterrüben-Blattsilage in Frage. Die Nutzung von Hauptkulturen, wie z.B. Luzerne-Grüngut, Getreide-Ganzpflanzensilage und Silomais ist im wesentlichen nur bei Inanspruchnahme von Beihilfen und unter günstigen Anbaubedingungen in Betracht zu ziehen. Da eine Biogasanlage heute mit Gülle oder Stallmist bereits wirtschaftlich betrieben werden kann, sind die anfallenden Substratbereitstellungskosten der begrenzende Faktor.

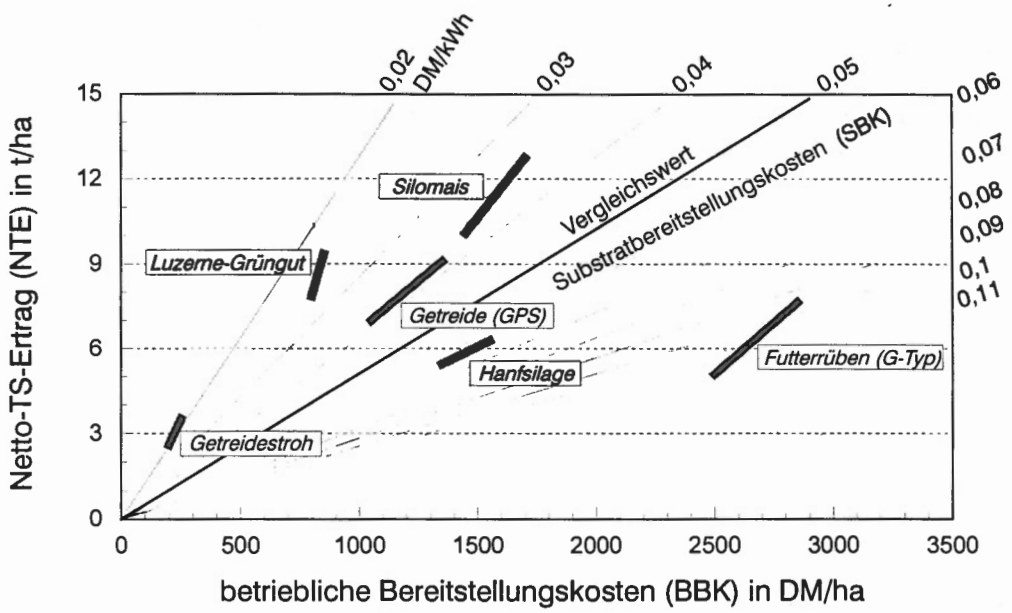


Bild 2: Einordnung verschiedener Feldfrüchte für eine Biogasgewinnung unter Berücksichtigung von Ertrag, betrieblichen Bereitstellungskosten und energiebezogenen Substratbereitstellungskosten (Variante mit Beihilfen)
Fig. 2: Classification of crops for biogas production with respect to crop yield, running costs and energy-related substrate costs (case with subsidies)

Mit den angestellten Berechnungen war beabsichtigt, eine erste Übersicht hinsichtlich der Auswahl von Feldfrüchten zu bekommen. Diese Berechnungen können jedoch nicht eine detaillierte und standortbezogene Kostenbetrachtung ersetzen. Der Anbau von Mais auf Stillegungsflächen und die Nutzung als Substrat für die Biomethanisierung wird bereits praktiziert und verbessert die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage. Weitere, zur Zeit noch in der Entwicklung befindliche Nutzungsrichtungen von Biogas, wie etwa die Substitution von Kraftstoff, können durch veränderte Preise die getroffene Auswahl an Pflanzen noch beeinflussen. Die vorgestellte Methode kann jedoch auch hierfür durch Änderung der Bezugswerte genutzt werden.

Literatur

[1] Biogas-Journal, Nr. 1./2. Juni 1999, S.40, Hrsg. Fachverband Biogas, Kirchberg Jagst-Weckelweiler

[2] Kuhn, E.: Kofermentation. 219, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. , KTBL-Arbeitspapier 219, 1995

[3] Lindboe, H. H., Gregersen K. H., Tafdrup, S.: Progress report on the Economy of Centralized Biogas plants. Danish Energy Agency, February 1995

[4] Linke, B.: Entsorgung organischer Reststoffe durch Co-Fermentation. Landtechnik 52 (1997) H. 2, S. 82-83

[5] Klemann, K, Meliß, M: Regenerative Energiequellen, 2. Auflage- Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1993

[6] DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt/M., 1997

[7] Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebswirtschaftliche Bewertung landwirtschaft-licher Produktionsverfahren im Land Brandenburg Ministerium Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Land Brandenburg, Potsdam, 1997

[8] Datensammlung Betriebsplanung 1997/98, Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft, 15. Auflage; KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1997

[9] Hanf in Brandenburg, Hrsg. Lehr- und Versuchsanstalt f. integrierten Pflanzenbau Gü-terfelde, Nov. 1995

[10] Braun, R.: Biogas- Methangärung organischer Abfallstoffe. Wien, New York: Springer- Verlag, 1982

[11] Agenda 2000 - Beschluß für Kulturpflanzen. Rundschreiben IV/118/1999, Deutscher Bauernverband, Bonn (31.03.99)

[12] KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 1994/95 Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1994