

ABSCHLUSSBERICHT

zum Projekt

Miscanthus als umweltverträgliches low-input Biogassubstrat - Untersuchung zu Nutzungspotentialen in Biogasanlagen

gefördert durch



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds für die
Entwicklung des ländlichen Raums. Hier
investiert Europa in die ländlichen Gebiete



Dieses Angebot wird im Rahmen des Entwicklungsprogramms Paul unter Beteiligung der Europäischen Union und des Landes Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten, gefördert.



- Projektträger:** Landkreis Bitburg-Prüm
- Projektleitung:** DLR Eifel (Beratungszentrum Nachwachsende Rohstoffe),
Dr. Herbert von Francken-Welz
- Kooperationspartner:** Bioenergie Niederweiler GmbH & Co. KG
Universität Bonn, Institut für Landtechnik
Universität Trier, Fachbereich Bodenkunde
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz
Kenner Miscanthus
- Laufzeit des Projektes:** 01.11.2014 bis 31.05.2015

erarbeitet von

Conrad Cosack, Universität Bonn

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	3
TABELLENVERZEICHNIS	4
1. Einleitung und Problemstellung	5
2. Material und Methoden	7
2.1 Substratwahl	7
2.2 Biogasausgasungsversuche	8
2.3 Energiebedarfsmessungen	8
2.4 Skizzenhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung	10
3. Ergebnisse	12
3.1 Biogasausgasungsversuche	12
3.2 Energiebedarfsmessungen	12
3.3 Skizzenhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung	12
4. Diskussion	13
5. Zusammenfassung	15
LITERATURVERZEICHNIS	

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

FM	Frischmasse
Misc.	Miscanthus
M.-%	Masseprozent
MULEWF	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz
N	Stickstoff
oTS	organische Trockensubstanz
RP	Rheinland-Pfalz
TM	Trockenmasse
SRM	Schüttraummeter

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 1: Versuchsvarianten der verschiedenen Untersuchungen	7
Tabelle 2: Versuchsmasse und Durchlaufdauer der Wiederholungen und Varianten des Versuchs zur Energiebedarfsermittlung	9
Tabelle 3: Annahmen zur Kostenermittlung für aufgeschlossenen Miscanthusgemisch	10
Tabelle 4: Produktionskosten für Nachwachsende Rohstoffe (Quelle DLR Eifel)	11
Tabelle 5: Methanerträge der verschiedenen Versuchsvarianten	12
Tabelle 6: Kosten cent/kWh _{Gesamtenergie Biogas} verschiedener Substrate	13

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

2013 waren in Deutschland rund 7.800 Biogasanlagen, die in der Summe 3.500 MW installierte Leistung bereitstellten, in Betrieb. Für diese Biogasanlagen, in denen zum Großteil Mais als Substrat eingesetzt wird, wurden in Deutschland rund 830.000 ha Mais (6,9% der Ackerfläche) angebaut (FNR, 2014). In Rheinland-Pfalz (RP) waren 2014 142 Biogasanlagen in Betrieb. Die Summe der installierten Leistung beträgt 58 MW. Dafür wird in RP auf ca. 10.000 ha Mais (2,5% der Ackerfläche) angebaut (VON FRANCKEN-WELZ, 2014).

Obwohl Mais als C4-Pflanze über vorzügliche Eigenschaften verfügt (hohe Erträge, angepasst an wärmeres Klima, relativ geringer Pflanzenschutzmittelbedarf und Hackfruchteigenschaften), ist diese Kultur in den Mittelpunkt der kritischen Bewertung der Bioenergieproduktion gerückt.

Tatsächlich bleibt festzuhalten, dass die in Bezug auf den Maisanbau öffentlich diskutierten Probleme wie Überdüngung, „Maismonokultur-Anbau“ und Bodenerosion keine direkten Folgen der Biogasproduktion sind und auch nicht flächendeckend in Deutschland auftreten. Vielmehr werden diese nur lokal auftretenden Probleme durch primär andere Faktoren verursacht (zu hohe Viehdichten, unsachgemäße Düngung oder unsachgemäßer Ackerbau). Dennoch ist festzustellen, dass der Anbau von Mais als Biogassubstrat diese Probleme auf lokaler Ebene verschärfen kann.

Im Gegensatz zu Mais ist das perennierende C4-Gras *Miscanthus x giganteus* eine umweltverträgliche „low-input“-Kultur, die positive Auswirkungen auf konventionellen Agrarökosystemen hat (Gewässerschutz, Klimaschutz, Bodenschutz, Ressourcenschutz) (STOLZENBURG, 2010; LIEBHARD, 2010; FRITZ und FORMOWITZ, 2009). Ebenfalls weist *Miscanthus*, wie Mais, sehr hohe Biomasseerträge (bis zu 45 t FM) und hohe Energiegehalte auf (WENGHOEFER, 2014). Im Gegensatz zu Mais ist *Miscanthus* - aufgrund des hohen Ligningehalts - sehr schlecht vergärbar. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Methanausbeute aus *Miscanthus* 30 bis 40% geringer ist als bei Mais (HEIERMANN et al., 2009).

Damit die *Miscanthus*-Biomasse überhaupt als Biogassubstrat genutzt werden kann, muss *Miscanthus* bereits im Frühherbst geerntet werden (35 M.-% TM). Aufgrund dieses Erntetermins ergibt sich eine weitere Einschränkung für die Nutzung von *Miscanthus* als Biogassubstrat. In der Regel wird *Miscanthus* als Dauerkultur (20 Jahre und mehr) Ende März bzw. Anfang April mit einem TM- Gehalt von 85 M.-% geerntet (LEWANDOWSKI et al., 2000). Dieser späte Erntetermin ist zu empfehlen, da über Winter

eine Stoffrückverlagerung von der oberirdischen in die unterirdische Biomasse stattfindet. Diese Rückverlagerungen garantiert neben einer geringfügigen Erhaltungsdüngung (<50 kgN/ha) die langjährige Vitalität der einzelnen Miscanthus-Pflanzen (LEWANDOWSKI et al., 2000). FRITZ und FORMOWITZ (2010) stellten dazu fest, dass zu frühe Schnitte bei Miscanthus zu Wuchsdepressionen führen können. Damit dennoch das stark lignifizierte Miscanthus-Erntegut - das in der Regel stofflich oder thermisch (Verbrennung) genutzt wird - dem Biogasprozess zugeführt werden kann, muss dieses voraufgeschlossen werden (LEHMANN UND FRIEDRICH, 2012).

Laut KISSEL et al. (2014) können diese Aufschlussverfahren in biologische, physikalische und mechanische unterschieden werden.

LEHMANN UND FRIEDRICH (2012) untersuchten, ob die Methanausbeute von Miscanthus (85% TM) durch Anwendung des mechanischen Aufschlussverfahrens Bioextrusion® erhöht werden kann. Sie fanden heraus, dass bei Verwendung des Aufschlussverfahrens aus 1 ha Miscanthus jährlich - bei einem Ertrag von 20 t/ha (TM) – 7.300 m³ CH₄ pro ha produziert werden können. Sie führen dies darauf zurück, dass durch das Aufschlussverfahren die Zellstruktur der Biomasse zerstört wird, sodass diese schneller während des Vergärungsprozesses biologisch zu Biogas umgewandelt werden kann.

Die Firma Bioenergie Niederweiler GmbH & Co. KG, die eine Biogasanlage betreibt, besitzt einen von LEHMANN UND FRIEDRICH (2012) beschriebenen Bioextruder und hatte sich für die Nutzung von Miscanthus interessiert.

Um die Verwendung mittels Extruder mechanisch aufgeschlossenem Miscanthus für den Biogasprozess zu untersuchen, wurde das Projekt „Miscanthus als umweltverträgliches low-input-Biogassubstrat“ initiiert.

Auf Grundlage der Ergebnisse von LEHMANN UND FRIEDRICH (2012) wurden weitere Untersuchungen in Kooperation zwischen DLR Eifel, Bioenergie Niederweiler GmbH & Co. KG, Universität Bonn, Universität Trier, Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz (MULEWF) und Kenner Miscanthus durchgeführt.

Ziel des Projektes war es zu untersuchen, ob der Einsatz von - mittels Extruder mechanisch aufgeschlossenem - Miscanthus als Biogassubstrat ökonomisch rentabel ist und damit Mais als Biogassubstrat teilweise ersetzt werden kann.

2. Material und Methoden

Das nachfolgende Kapitel stellt die Vorgehensweise dar, wie in dem Projekt untersucht wurde, ob der Einsatz von - mittels Extruder mechanisch aufgeschlossenem- Miscanthus als Biogassubstrat ökonomisch rentabel ist. Dabei kann in drei Schritte unterteilt werden:

1. Biogasausgasungsversuche
2. Energiebedarfsmessung
3. Skizzenhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung

2.1 Substratwahl

Im Rahmen der Untersuchungen wurden 5 verschiedene Varianten beleuchtet. Tabelle 1 stellt die verschiedenen Varianten dar und welche Untersuchungen mit welchen Varianten erfolgten.

Tabelle 1: Versuchsvarianten der verschiedenen Untersuchungen

Variante	Untersuchung	
	Biogasausgasung	Energiebedarfsmessung
Mais (Kontrolle)	x	x
Grassilage (üblich)		x
90%Mais10%Misc.	x	x
80%Mais20%Misc.	x	
70%Mais30%Misc.	x	x

Der Maisanteil der verschiedenen Varianten stammte aus der Silomaisernte der Bioenergie Niederweiler GmbH & Co.KG aus dem Jahre 2013. Die Maissilage, die gemäß der guten fachliche Praxis gelagert wurde, hatte einen TM-Gehalt von 35 M.-%.

Der Miscanthusanteil der verschiedenen Versuchsvarianten stammte aus der Miscanthusernte 2014 des landwirtschaftlichen Betriebes Koch in Kenn (Kenner Miscanthus). Der TM-Gehalt des vergleichsweise homogen gehäckselten Miscanthus, der nach der Beerntung mittels Feldhäcksler nicht weiter bearbeitet wurde, betrug 86 M.-% und die Schüttdichte lag bei 150 kg m⁻³.

Zusätzlich zu der Kontrollvariante Mais wurde Grassilage, die in der Region eine übliche Substratart ist, als zusätzliche Vergleichsvariante untersucht. Die Grassilage stammte ebenfalls aus der Grasernte der Bioenergie-Niederweiler und hatte einen TM Gehalt von 37 M.-%.

In Vorbereitung für die nachfolgendbeschriebenen Versuche wurden die Varianten nach einer händischen Durchmischung und einer Zugabe von Wasser in gleich großen luftdicht verschließbaren Fässern für 4 Wochen in vierfacher Wiederholung eingelagert. Alle Versuchsvarianten wurden einheitlich auf einen TM-Gehalt von 65 M-% eingestellt.

2.2 Biogasausgasungsversuche

Im Rahmen der Ausgasungsversuche wurden wie aus Tabelle 1 ersichtlich die Varianten Mais (Kontrolle), 90%Mais10%Misc., 80%Mais20%Misc., 70%Mais30%Misc. untersucht.

Nach der Einlagerungsdauer von 4 Wochen, durch die eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Materials erreicht werden sollte, wurden die o.g. Varianten in vierfacher Wiederholung mit dem Bioextruder aufgeschlossen.

Direkt nach Austritt aus dem Bioextruder, wurde von dem aufgeschlossenen Material in vierfacher Wiederholung eine Probe entnommen. Zusätzlich dazu wurde von jeder Wiederholung der unaufgeschlossenen Substratvarianten in vierfacher Wiederholung Proben entnommen. Die Proben wurden luftdicht verschlossen und kühl gelagert.

Im weiteren Verlauf wurden die Proben durch die Universität Trier auf deren Biogasertrag untersucht.

Die Ausgasungsversuche erfolgten nach der VDI Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“, dabei wurde der Versuchsaufbau in Anlehnung an DIN 38414-8 konzipiert.

2.3 Energiebedarfsmessungen

Für die Energiebedarfsmessung wurden in Anlehnung der ersten Erkenntnisse und Ergebnisse neue Versuche angesetzt. Dabei wurden die Varianten, Mais (Kontrolle) Grassilage (üblich), 90%Mais10%Misc. und 70%Mais30%Misc. in vierfacher Wiederholung untersucht.

Die Mais und Gras Varianten dienen zur Ermittlung von Grundverbrauchswerten. Die beiden Mischungen wurden, wie im vorherigen Vorgang auf einen TM-Gehalt von 65M-% eingestellt und 4 Wochen unter luftdichten Bedingungen gelagert.

Zur Energiebedarfsmessung wurde der FLUKE 1735 direkt an den Extruder angeschlossen. Jede einzelne Wiederholung wurde auf das Zuführungsband geschüttet und dann wurde der Extruder gestartet, sodass eine genaue Zeit genommen werden konnte, in der die bestimmte Masse aufbereitet wurde. Tabelle 2 zeigt welche Massen der Versuchsvarianten in welcher Zeit aufgeschlossen wurden.

Tabelle 2: Versuchsmasse und Durchlaufdauer der Wiederholungen und Varianten des Versuchs zur Energiebedarfsermittlung

Variante	Wiederholung	Masse [kg]	Durchlaufdauer [sec]
Mais (Kontrolle)	1	60	87
	2	60	81
	3	60	84
	4	60	86
Gras (üblich)	1	50	94
	2	50	95
	3	50	89
	4	50	92
90%Mais10%Misc	1	65,75	119
	2	65,75	117
	3	65,75	124
	4	65,75	107
70%Mais30%Misc	1	47,5	141
	2	47,5	147
	3	47,5	144
	4	47,5	153

Im Anschluss an die Energiebedarfsmessung wurde der spezifische Energiebedarf [kWh/t Substrat (TM)] des Aufschlussvorgangs jeder Wiederholung ermittelt.

2.4 Skizzenhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgte durch einen Vergleich der Varianten Mais (Kontrolle), Gras (üblich), 90%Mais10%Misc und 70%Mais30%Misc. Dabei wurden nur die Substratkosten frei Fermenter verglichen. Als Einheit wurde Cent/kWh bezogen auf die Gesamtenergie des Methanertrags in Abhängigkeit des Substrats gewählt.

Miscanthus wurden unter folgenden Annahmen ermittelt, wobei die Energiekosten im Rahmen der Untersuchung ermittelt wurden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Annahmen zur Kostenermittlung für aufgeschlossenen Miscanthusgemisch

Kostenposten	Kosten [€/TM]
Substratpreis Miscanthus unbehandelt	150
Anteilige Investitionskosten	36
Energiekosten Aufschluss	
Sonst. Betriebskosten für Aufschluss	2

Für Mais wurde nach Richtwerten des DLR Eifel ein Preis von 3,7 Cent angenommen. Die Annahmen zu dem Preis sind in Tabelle 4 dargestellt.

Im Anschluss wurden die Kosten je Tonne Gemisch in Kosten je kWh umgerechnet, wobei der ermittelte Methanertrag jeder Gemischvariante berücksichtigt wurde. Dafür wurden die Anteiligen Kosten für Mais und Miscanthus addiert.

Tabelle 4: Produktionskosten für nachwachsende Rohstoffe (Quelle DLR Eifel)

Produktionskosten nachwachsender Rohstoffe für die Biogasproduktion

Modell A: Gute Erträge, geringe Pachten (200 €/ha)

Nährstoffpreise bei Handelsdüngern:

Preis € je kg N:	1,05
Preis € je kg P ₂ O ₅ :	0,75
Preis € je kg K ₂ O:	0,59

Nährstoffgehalt in Substratgülle:

Gesamt - N in kg/m ³ :	4,8	in €/m ³ (ohne Ausbringkosten)	8,17
P ₂ O ₅ in kg/m ³ :	1,8	in €/m ³ (mit Ausbringkosten)	4,52
K ₂ O in kg/m ³ :	6		

Gewünschte Nährstoffrücklieferung (wieviel % des Düngerverbrauchs des vergorenen Substrates)

	100
--	-----

Düngungskosten und Nährstoffwert des Gärrestes werden nach Nährstoffpreisen und der Nährstoffabfuhr (bzw. N-Aufwand) berechnet. Vgl. auch KTBL Heft 54 (Die neue Düngeverordnung)

Elektrischer Wirkungsgrad der Biogasanlage in %:	39
Lohnansatz in €/Akh (für eigene Arbeit)	20,00
Zeitaufschlag Rüstzeiten, Bestandsmanagement in %:	0
kalkulatorischer Zinsansatz %:	3

Dieselpreis €/kg

Schmierölpreis €/kg

Feste Kosten Fahrlohn €/m³

variable Kosten Fahrlohn €/m³

	1,30	
	2,50	
	2,40	entspricht 30 € HK/m ³ NV bei und 4 % Abz, 1 % Unterh., 5 % Zins
	0,55	vgl. KTBL Datensammlung Energiepflanzen Aug. 2012, S. 314

Kultur	Silomale	Körnermaie feucht	Triticale GPS	Sudangras (Hauptkultur)	Zuckerhirse (Hauptkultur)	Sonnenblume	Grün-Roggen	Triticale Korn	Grünland 4 Schnitte	Grünland 3 Schnitte	Kleegras 4 Schnitte	Weidelgras 4 Schnitte
Naturalerträge und weitere Ertragskennzahlen:												
Ertrag FM dt/ha (brutto vor Verlusten)	500	120	350	400	400	400	300	70	280	240	320	320
TM in %	33	67	33	22	22	22	25	87	35	35	35	35
Ertrag TM dt/ha (brutto)	165	80	116	88	88	88	75	61	98	84	112	112
organische TM in % der TM ¹⁾	95	98	95	90	90	90	90	97	90	90	90	90
Ertrag oTM dt/ha (brutto)	157	79	110	79	79	79	68	59	88	75	101	101
Methan l/kg oTM ²⁾	340	380	330	320	320	300	320	380	320	320	320	320
Ertrag Methan m ³ /ha brutto	5.330	2.994	3.621	2.534	2.534	2.376	2.160	2.245	2.822	2.419	3.226	3.226
Verluste in % ³⁾ (= Summe der TM, Rand- u. Entnahmeverluste)	12	9	12	12	12	12	12	1,4	12	12	12	12
FM dt/ha im Fermenter (Verluste berücksichtigt)	440	109	308	352	352	352	264	69	246	211	282	282
TM dt/ha im Fermenter (Verluste berücksichtigt)	145	73	102	77	77	77	66	60	86	74	99	99
Ertrag Methan m ³ /ha netto (Verluste berücksichtigt)	4.690	2.725	3.186	2.230	2.230	2.091	1.901	2.213	2.484	2.129	2.839	2.839
Ertrag Gesamtenergie in kWh/ha (Verluste berücksichtigt)	46.900	27.246	31.864	22.303	22.303	20.909	19.008	22.133	24.837	21.269	28.385	28.385
Ertrag el. Energie in kWh/ha netto (Verluste berücksichtigt)	18.291	10.626	12.427	8.698	8.698	8.154	7.413	8.632	9.686	8.303	11.070	11.070
Ertrag el. Energie in kWh/ha FM netto (Verluste berücksichtigt)	366	886	355	217	217	204	247	1.233	346	346	346	346
Produktion: variable Kosten und weitere Kennzahlen												
Saatgut	191 €	175 €	72 €	80 €	80 €	110 €	50 €	72 €	30 €	30 €	115 €	60 €
Pflanzenschutz	120 €	120 €	130 €	120 €	120 €	80 €	55 €	130 €	0 €	0 €	0 €	0 €
notwendige Düngung nach Entzug (ohne Ausbringkosten)	458 €	219 €	281 €	239 €	239 €	444 €	182 €	190 €	504 €	386 €	405 €	564 €
rechnerisch notwendige Rücklieferung Substratgülle in m ³ /ha	42,28	20,19	26,16	22,79	30,13	42,20	16,99	18,82	46,57	39,97	52,14	52,28
tatsächliche Rücklieferung Substratgülle in m ³ /ha	42	20	26	23	30	42	17	19	47	36	52	52
tatsächlicher Nährstoffwert der Substratgülle	345 €	165 €	214 €	186 €	246 €	345 €	139 €	154 €	380 €	294 €	426 €	427 €
tatsächliche Hof-Feld Entfernung in km (einfache Strecke)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ausbringkosten Gärreste (Formel nach LfL_Bayern.de)	154 €	74 €	95 €	83 €	110 €	154 €	62 €	69 €	170 €	131 €	190 €	191 €
variable Maschinenkosten (eigene Maschinen)	123 €	123 €	121 €	118 €	118 €	118 €	118 €	121 €	101 €	83 €	163 €	185 €
Ernte und Einlagern (komplett in Lohnarbeit)	320 €	152 €	265 €	320 €	320 €	320 €	265 €	125 €	370 €	275 €	370 €	370 €
sonstiges (z. B. Hagelversicherung)	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €	30 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Zinsansatz für Umlaufvermögen (bei 6 Mon. Kapitalbindung)	11 €	9 €	8 €	7 €	8 €	9 €	5 €	7 €	6 €	5 €	7 €	9 €
Summe variable Kosten Produktion/ha (geerntet)	1.062 €	737 €	788 €	812 €	860 €	921 €	629 €	590 €	801 €	616 €	845 €	952 €
Produktion: feste Kosten												
Akh - Bedarf Feldarbeiten je ha	3,25	3,25	3,36	3,15	3,15	3,15	3,17	3,36	3,21	2,68	5,09	5,22
Lohnansatz für Feldarbeiten	65 €	65 €	67 €	63 €	63 €	63 €	67 €	64 €	64 €	54 €	102 €	104 €
feste Maschinenkosten Feldarbeiten	96 €	96 €	78 €	73 €	73 €	73 €	78 €	78 €	62 €	62 €	126 €	126 €
Pachtansatz oder tatsächliche Pachtzahlung	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €	200 €
sonstige Festkosten der Fläche (Saato nach Prämien)	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Summe Festkosten der Produktion/ha	361 €	361 €	345 €	336 €	336 €	336 €	336 €	345 €	341 €	316 €	428 €	432 €
Summe Vollkosten Produktion/ha (geerntet)	1.423 €	1.099 €	1.134 €	1.147 €	1.196 €	1.256 €	965 €	936 €	1.142 €	932 €	1.273 €	1.384 €
Lagerung: variable und feste Kosten												
Lagerdichte in kg/m ³	700	700	650	750	750	700	750		660	660	650	660
Lagerbedarf m ³ /ha	68	16	51	51	51	54	38		40	35	47	46
variable Kosten Lager (Folie, Anstreich, etc.)	40 €	10 €	30 €	30 €	30 €	32 €	22 €		24 €	20 €	28 €	27 €
feste Kosten Lager (Afa, Unterhaltung, Zinsansatz)	163 €	39 €	123 €	122 €	122 €	130 €	91 €		97 €	83 €	112 €	111 €
Summe Kosten der Lagerung/ha	209 €	169 €	153 €	151 €	151 €	162 €	114 €		210 €	103 €	140 €	138 €
Summe Vollkosten des Produktes/ha (im Lager)	1.626 €	1.267 €	1.287 €	1.298 €	1.347 €	1.418 €	1.079 €		1.352 €	1.035 €	1.413 €	1.522 €
Entnahme: variable und feste Kosten												
variable Kosten Siloentnahme	41 €	10 €	28 €	32 €	32 €	32 €	24 €		6 €	23 €	19 €	26 €
Akh - Bedarf Siloentnahme	2,25	0,54	1,58	1,80	1,80	1,80	1,35		0,32	1,26	1,08	1,44
Lohnansatz für Siloentnahme	45 €	11 €	32 €	36 €	36 €	36 €	27 €		6 €	25 €	22 €	29 €
feste Maschinenkosten Siloentnahme	30 €	7 €	21 €	24 €	24 €	24 €	18 €		4 €	17 €	15 €	19 €
Summe Kosten der Entnahme/ha	116 €	28 €	81 €	93 €	93 €	93 €	70 €		16 €	65 €	56 €	74 €
Summe Vollkosten frei Biogasanlage/ha	1.742 €	1.295 €	1.368 €	1.391 €	1.440 €	1.511 €	1.148 €		1.368 €	1.091 €	1.487 €	1.596 €
Summe Vollkosten ctk/kWh el. Energie	9,53	12,19	11,01	16,00	16,56	18,53	15,49		13,46	13,14	13,43	14,42
Summe Vollkosten ctk/kWh Gesamtenergie im Biogas	3,71	4,75	4,29	6,24	6,46	7,23	6,04		5,25	5,12	5,24	5,62
Vollkosten Substratmix bei 40 % Gülleanteil kostenfrei	3,42	4,58	3,94	5,44	5,63	6,25	5,35		4,89	4,69	4,79	5,15

Anmerkungen: 1), 2), 3) für alle Kulturen entnommen aus KTBL-Heft 88 "Faustzahlen Biogas" 3. überarbeitete Auflage 2013

3. Ergebnisse

Im nachfolgendem Kapitel werden die Ergebnisse des Versuchs dargestellt.

3.1 Biogasausgasungsversuche

Die Ausgasungsversuche zeigten, dass die Variante Mais unbehandelt mit 356 m³ /kg oTS die höchsten Methanerträge hatte. Die extrudierte Variante 90%Mais10%Misc hatte mit 297 m³ /kg oTS den zweit höchsten Methanertrag.

Die übrigen Varianten hatten deutlich schlechtere Methanerträge. Die nachfolgende Tabelle stellt die Methanerträge aller Varianten dar.

Tabelle 5: Methanerträge der verschiedenen Versuchsvarianten

Variante	Methanertrag extrudiert [m ³ /kg oTS]	Methanertrag unbehandelt [m ³ /kg oTS]
Mais (Kontrolle)	313	356
90%Mais10%Misc	297	258
80%Mais20%Misc	230	205
70%Mais30%Misc	221	203

3.2 Energiebedarfsmessungen

Die Versuche zur Energiebedarfsmessung zeigten, dass die Variante Mais den geringsten spezifischen Energiebedarf hatte. Die Variante 70%Mais30%Misc hatte nach der Variante Gras den höchsten Energiebedarf. Die Variante 90%Mais10%Misc hatte den zweit niedrigsten Energiebedarf kWh/t.

3.3 Skizzenhafte Wirtschaftlichkeitsberechnung

Zur skizzenhaften Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden Grundwerte von der Biogasanlage Niederweiler GmbH, z.B. die Anschaffungskosten des Extruders von ca. 110.000€ mit einer Abschreibung über 10 Jahre, ein zusätzlicher Schlepper bei der Maissilage zur gleichmäßigen Einmischung des Miscanthussubstrats und die Transportkosten von Kenn bei Trier bis nach Bitburg berücksichtigt. Dabei wurden Kosten

zur Rechnung herangezogen, die aus der guten fachlichen Praxis ermittelt worden sind .

Tabelle 6: Kosten cent/kWh_{Gesamtenergie Biogas} verschiedener Substrate

Substrat	Kosten [cent/kWh _{Gesamtenergie Biogas}]
Mais (Kontrolle)	2,71
Grassilage (üblich)	5,35
90%Mais10%Misc.	4,96
70%Mais30%Misc.	5,12

4. Diskussion

Die Ergebnisse der Ausgasungsversuche zeigen, dass Mais mit die höchsten Biogaserträge liefert. Ebenso zeigt der Versuch, dass der Aufschluss von Miscanthus mittels Bioextruder die Biogasausbeute deutlich erhöht. Im Fall der Variante 90%Mais10%Misc. konnte der Methanertrag durch den Aufschluss um 15% erhöht werden. Dieser war allerdings 17% geringer als der der 100% Mais Variante.

Aufgrund der vergleichsweisen schlechten Methanerträge der Varianten die einen höheren Miscanthusanteil als 10% hatten, wird im Folgenden nur noch die Variante 10% Miscanthus und 90% Mais weiter diskutiert. Als zusätzlichen Grund für die Beschränkung auf die 10% Variante dient der Vorversuch, der gezeigt hat, dass eine einfache Mischung von Miscanthus und Mais im Verhältnis von 70% Mais und 30% Miscanthus ohne Zugabe von Wasser in einem automatisch ablaufendem Mischungsvorgang zu einem Zusetzen des Extruders führt. Dadurch kommt es zu einem nicht mehr störungsfreien Ablauf der Aufbereitung durch den Extruder, dieser dient aber als Grundlage der Wirtschaftlichkeit.

Neben diesem aufgetretenem Problem tritt ein weiteres bei den Transportkosten und der Lagerung von Miscanthus durch die der sehr geringen SRM von 150 kg-srm³ auf. Diese würden sich durch eine Pelletierung senken lassen, allerdings auf Kosten der Einmischung im Silagevorgang. Durch die Einmischung mit Wasser und die Lagerung über 4 Wochen unter luftdichten Bedingungen wurde versucht ein Silageprozess zu

simulieren. Dieser soll dazu dienen, dass das Miscanthussubstrat Wasser aufnimmt und so aufweicht. Im optimalen Fall würde der Gärprozess der Maissilage den Miscanthus mit aufschließen. Dieses konnte man allerdings nicht durchführen, da auf Grund der Jahreszeit mit schon vergorenem Mais experimentiert worden ist.

Ein weiterer positiver Effekt der entstehen könnte ist, dass das Substrat die Sickersäfte, die bei Maissilage entstehen, auffängt und so sowohl zum Grundwasserschutz beitragen kann als auch die durch die Sickersäfte austretende Energie auffangen könnte.

Der Umweltschutz muss natürlich auch in der Wirtschaftlichkeitsberechnung betrachtet werden, da nicht nur an den Anlagen durch weniger Sickersäfte, sondern auch beim Anbau von Miscanthus als low-input-Pflanze mit wenig Stickstoffbedarf und kaum Pflanzenschutzmitteleinsatz zum Gewässerschutz beigetragen wird.

Das Problem was dabei entsteht, ist der hohe Verholungsgrad, bei der Ernte im März und April, diesem könnte zwar durch ein grünes Häckseln im Herbst begegnet werden, führt aber schon im Folgejahr zu Ernteausfällen von 20%-30%, im dritten Jahr zu Ausfällen bis zu 70% und im 4. Jahr zu einem vollkommenen Ertragsausfall. Ob diesem durch eine stärkere Düngung entgegen gewirkt werden kann ist noch nicht hinreichend erforscht, dieses führt dann aber wieder zu einer intensiveren Bewirtschaftung.

Durch den hohen Verholungsgrad kommt es sowohl im Feldhäcksler, als auch später in der Biogasanlage, Extruder und Zuführungsschnecken, zu einem deutlich höheren Verschleiß der Maschinen. Dieser ist bei Grasmischungen im Vergleich zu Mais schon deutlich höher und wird bei Miscanthus Beimischung wohl noch weiter steigen und zu einem kürzeren Wartungsintervall führen. Wie hoch die Mehrkosten hierbei sind ist nicht bekannt und müsste in einem Langzeitversuch geklärt werden.

Positiv auf die Kosten wirkt sich aus, dass durch den unterschiedlichen Erntezeitpunkt, Mais im Herbst und Miscanthus im Frühjahr, die Arbeitsspitzen gestreckt werden und die Auslastung der Häckselketten erhöht wird. Allerdings wird im Gegenzug bei der Maissilage ein zusätzliches Fahrzeug benötigt, mit Fahrer, welches das neben dem Fahrsilo gelagerte Miscanthussubstrat gleichmäßig zwischen den Mais fährt, um Miscanthusnester in der Silage zu vermeiden. Denn zu viel Luft in der Silage führt direkt zu einem Qualitätsverlust.

Qualität spielt auch am Ende des Gärprozesses eine wichtige Rolle. Durch die Zumischung von Miscanthus wird es wahrscheinlich zu einer Aufwertung des Gärsubstrates

kommen und somit zu einem wertvolleren Düngerprodukt für die Landwirtschaft, welches die Böden aufwerten könnte.

Mit Miscanthus kommt es zu einer längeren Verweilzeit in der Biogasanlage, um ca. 7-10 Tage durch die stärkere Festlegung im Substrat, diese ist mit dem Extruder zwar auf 5- 6 Tage gesunken, muss aber bei der Neuplanung einer Anlage bedacht werden. Verkürzen könnte sich diese Zeit auch noch, wenn sich die Bakterien auf das Substrat eingestellt haben. Ob sich diese auf Miscanthus einstellen können ist noch nicht hinreichend erforscht, wenn dies der Fall ist wird dies auch noch einmal zu einer höheren Gasausbeute führen.

Die Gasausbeute liegt auch nicht bei 100%, da zwischen dem Aufschluss durch den Extruder und dem einvakuumieren kein komplett geschlossener Prozess sicherzustellen war. Dabei sind die ersten flüchtigen Gase entwichen.

Bei der Energiebedarfsmessung kam es zumindest bei der Gesamtzeit auf Grund der Tatsache zu Problemen, dass der Extruder keinen Griff auf den Mais bekam und so nicht gut einzog.

Der gesamte Prozess der Beimischung und Aufschluss des Miscanthussubstrates führt überwiegend zu Mehrkosten bei geringerer Gasausbeute. Wenn man aber die oben aufgeführten externen positiven Effekte mit einrechnet werden die Mehrkosten gedeckt.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes Miscanthus als umweltverträgliches low-input Biogassubstrat - Untersuchung zu Nutzungspotentialen in Biogasanlagen wurde untersucht, ob der Einsatz von - mittels Extruder mechanisch aufgeschlossenem - Miscanthus als Biogassubstrat ökonomisch rentabel ist und damit Mais als Biogassubstrat teilweise ersetzt werden kann.

Es zeigte sich, dass eine Beimischung von 10% extrudiertem Miscanthus - oder mehr - unter den derzeitigen Rahmenbedingungen im Vergleich zu Silomais nicht rentabel ist. Auch im Vergleich zu Grassilage ist dies derzeit aus ökonomischer Sicht nicht zu empfehlen.

Dennoch zeigte sich, dass Miscanthus als Beimischsubstrat eine Alternative sein kann. Unter Berücksichtigung positiver externer Effekte, wie z.B. der zu erwartenden verringerten Sickersaftbildung in Fahrsilos oder verringerten Nährstoff-Einträgen - vor allem

Stickstoff - in Gewässer, könnte der Einsatz von Miscanthus als Biogassubstrat zukünftig rentabel werden.

Um die ökologischen Vorteile des Einsatzes von Miscanthus auch unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen zu nutzen wäre es notwendig, den Anbau von Miscanthus zu unterstützen. Dies wäre z.B. im Bereich von Förderprogrammen zur umwelt- bzw. gewässerschonenden Landwirtschaft vorstellbar.

Um weitere Überlegungen zu diesem Thema führen zu könne, sollten jedoch aufbauend auf den ersten Erkenntnissen dieses Projektes weitere Untersuchungen erfolgen. Unter anderem ist zu empfehlen die gewonnen Erkenntnisse in größeren Maßstab zu überprüfen. Ferner sollte das Themengebiet der Reduktion der Sickersaftbildung weiteruntersucht werden.

In der Summe zeigen die Untersuchungen, dass Miscanthus trotz vorzüglicher Kultureigenschaften und intensiver Forschung immer noch eine landwirtschaftliche Nischenkultur ist und einer besonderen Förderung bedarf.

LITERATURVERZEICHNIS

FNR (2014): Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe,
<https://mediathek.fnr.de/grafiken.html>

von FRANCKEN-WELZ (2014): Biogasanlagen in Rheinland-Pfalz 2014, 4. Betriebs-
erhebung

STOLZENBURG, 2010: Anbau von Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) als
nachwachsender Rohstoff auf Acker- und Grünlandflächen unter dem Aspekt
der Nitratverlagerung. Pude, R. (Hrsg.). Miscanthus –Umwelt- und Nutzungs-
aspekte. Tagung vom 24.-26. November 2010 in Ardagger, Österreich. Kurz-
fassungen der Vorträge. Universität Bonn ILB-Press. ISBN 978-3-941766-04-
4.

LIEBHARD, 2010: Ökologische Aspekte und Einfluß langjähriger Nutzung von
Miscanthus giganteus auf ausgewählte chemische und physikalische Boden
kennzahlen. Pude, R. (Hrsg.), Miscanthus -Umwelt- und Nutzungsaspekte. Ta-
gung vom 24.-26. November 2010 in Ardagger, Österreich. Universität Bonn
ILB-Press. ISBN 978-3-941766-04-4.

FRITZ und FORMOWITZ (2009): Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff –
Ergebnisse aus bayrischen Forschungsarbeiten – Technologie- und Förder-
zentrum Straubing.

HEIERMANN et al. (2009): Bioenergy from permanent grassland – A review: 2.
Combustion, Bioresource Technology, Volume 100, Issue 21

LEWANDOWSKI et al. (2000): Miscanthus: European experience with a novel energy
crop. Biomass and Bioenergy, Volume 19. Seite 209-227.

LEHMANN UND FRIEDRICH (2012): Stroh statt Feldfrüchte, Landtechnik 67(2012),
no. 5, Seite 358–360

WENGHOEFER (2014): Entwicklung einer optimierten Produktion von Miscanthus-
Mischpellets für Kleinfeuerungsanlagen, Dissertation, Universität Bonn