



Abschlussbericht

***Verbundvorhaben:
Energiepflanzen für die Biogasproduktion***

***Teilvorhaben 2:
Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung
und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation
im Biogasreaktor***

Gefördert von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

FKZ: 22020903

Themenblatt-Nr.: 42.22.430

Langtitel: **Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor**

Kurztitel: Biogas

Projekt: Öl-, Energie- und Industriepflanzen

Projektleiter: Dr. habil. Armin Vetter

Laufzeit: 06/2004 bis 05/2007

Auftraggeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Namen der Bearbeiter: Dipl. Ing. (FH) Michael Conrad
Dipl. Ing. agr. Andrea Biertümpfel

Jena, im Dezember 2007

(Peter Ritschel)
Amt. Präsident

(Dr. habil. Armin Vetter)
Projektleiter

Inhalt

	Seite	
1	Einleitung	4
2	Material und Methoden	5
2.1	Versuchsstandorte/Pflanzenarten	5
2.2	Mehrortiger Anbauvergleich Energiepflanzen	5
2.2.1	Kurzcharakteristik der angebauten Pflanzenarten	6
2.3	Verarbeitungsversuche	8
2.3.1	Silivversuche	8
2.3.2	Minibatchversuche	8
2.3.3	Batchversuche	9
2.3.4	Kontinuierliche Versuche	9
2.4	Theoretisch mögliche Gasausbeute	10
2.5	Weiterführende anbautechnische Versuche	10
2.6	Herbizidversuche	11
3	Ergebnisse	11
3.1	Mehrortiger Anbauvergleich Energiepflanzen	11
3.1.1	Versuchsstandort Dornburg	11
3.1.1.1	Theoretisch mögliche Gasausbeuten in getrocknetem Pflanzenmaterial und Silage	11
3.1.1.2	Gasausbeuten der Minibatchversuche	19
3.1.1.3	Gasausbeuten der Batchversuche	21
3.1.1.4	Gasausbeuten der kontinuierlichen Versuche	31
3.1.2	Versuchsstandort Heßberg	37
3.1.3	Versuchsstandort Müllheim	41
3.1.4	Versuchsstandort Burkersdorf	45
3.1.5	Standorteignung der Pflanzenarten	48
3.2	Versuche zur Zweikulturnutzung	51
3.2.1	Versuchsstandort Dornburg	51
3.2.2	Versuchsstandort Heßberg	53
3.2.3	Versuchsstandort Kirchengel	55
3.3	Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras	57
3.4	Herbizidversuche	62
4	Ökonomische Betrachtung	65
5	Schlussfolgerungen und Zusammenfassung	70
6	Literatur	72

1 Einleitung

Durch die sich ändernden Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel dem Inkrafttreten und der Umsetzung des Erneuerbaren Energiengesetzes sowie dem Ziel der ständigen Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien an der Primärenergie, gewinnt die Produktion und Nutzung von Biogas zunehmend an Bedeutung im ländlichen Raum. Sichtbar wird dies an der ständig wachsenden Zahl von wirtschaftlich arbeitenden Biogasanlagen in der Landwirtschaft.

Mit der verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe zur Energiegewinnung werden nicht nur Möglichkeiten für den Abbau von Überproduktionen aufgezeigt, sondern auch neue Märkte und Arbeitsplätze für die Landwirtschaft erschlossen.

Neben dem sich immer mehr verringern den tierhaltungsbedingten Potenzial an Gülle, Mist und Einstreu kommen zunehmend landwirtschaftliche Kofermente zur Erhöhung der Biogas- und Methanausbeute zum Einsatz. Durch die Verwendung geeigneter landwirtschaftlicher Kulturen, die als Koferment in Biogasanlagen prozentual Gülle ersetzen, wird eine Verdoppelung bis Verdreifachung der Methanausbeute im Vergleich zur reinen tierhaltungsbedingten Vergärung des Gülleanfalls angestrebt.

Pflanzenarten, die für den Einsatz als Koferment geeignet erscheinen, sind solche, die vorrangig einen hohen Biomasseertrag erreichen, deren Rohfett- und Rohproteinanteil hoch und der Anteil an Rohfasern gering ist. Untersucht wurden bisher konventionelle Pflanzenarten, wie Mais, Rüben, Getreide sowie unterschiedliche Grasarten und -sorten auf ihre Eignung als Koferment. Eines der wichtigsten Kosubstrate ist der Mais. Begründet ist dies durch die Tatsache, dass bei der Verwendung von Mais, bezogen auf die organische Trockensubstanz (oTS), geringe Produktionskosten im Anbau sowie bei der Silierung anfallen und die Technologie vom Anbau bis hin zur Silierung sicher ist. Eine gute Silierbarkeit des Pflanzenmaterials und die dadurch bedingte ständige Verfügbarkeit ist eine der Grundvoraussetzungen für den technologisch stabilen Betrieb einer Biogasanlage über das gesamte Wirtschaftsjahr. Der Einsatz von Maissilage und auch Getreide als Koferment muss aber in Anbetracht der ständig steigenden Anzahl von Biogasanlagen aus fruchtfolgetechnischen Gründen kritisch betrachtet werden. Hinzu kommen anbautechnische Aspekte, beispielsweise Zweitfruchtssysteme.

Arbeiten zur Eruiierung weiterer Pflanzenarten, wie z. B. Topinambur oder Sudangras, beschränkten sich bisher vorwiegend auf die Untersuchung einzelner Verfahrensschritte, wie die Durchführung von Batchversuchen, ohne das ganzheitliche Verfahren von der Gewinnung der Biomasse bis hin zur Methanausbeute zu betrachten.

Inhalt des Projektes war die Untersuchung der Prozesskette vom Anbau verschiedener Energiepflanzen, über die Prüfung geeigneter Erntesysteme, die sichere Silierung bis hin zur Bestimmung und Messung der Biogas- und Methanausbeuten in Minibatch-, Batch- bzw. kontinuierlichen Gärversuchen unter einheitlichen Kriterien. Als hinsichtlich ihrer technologischen Eigenschaften und Inhaltsstoffe geeignete Pflanzen sind Zuckerhirse, Sudangras, Topinambur (Kraut und Knolle), Klee gras, Luzernegras und Durchwachsene Silphie untersucht und mit zwei Maissorten verglichen worden.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsstandorte/Pflanzenarten

Zur Durchführung der Anbauversuche mit den im Rahmen des Forschungsprojektes zu prüfenden Pflanzenarten wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Versuchsstandorte mit ihrer typischen Spezifizierung gewählt.

Tabelle 1: Versuchsstandorte

Standort	Bodenform	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage (m)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Heißberg (Vorgebirge)	Bergton-Staugley	Lehm-Ton	43	380	7,1	760
Dornburg (Ackerebene)	Löss-Parabraunerde	Stark toniger Schluff	46 - 80	260	8,1	578
Müllheim (Rheinebene)	Parabraunerde	Lehm	80	232	9,5	630
Burkersdorf (Vorgebirge)	Berglehm-Braunerde	Sandiger Lehm	36	440	7,0	642
Kirchengel (Ackerebene)	Löss-Rendzina	Lehm	60 - 65	305	7,8	568

Die in den einzelnen Versuchsstationen geprüften Pflanzenarten beinhaltet Tabelle 2. Die Auswahl der Pflanzenarten für den jeweiligen Standort richtete sich dabei nach ihren Ansprüchen an Boden und Klima und den Gegebenheiten der Versuchsstandorte.

Tabelle 2: Versuchsstandorte/Pflanzenarten

Pflanzenarten	Versuchsstandorte (ab 2004)			
	Dornburg	Heißberg	Müllheim	Burkersdorf (ab 2005)
Luzernegras	X			X
Kleegras		X	X	
Topinambur einjährig	X			X
Topinambur mehrjährig	X	X	X	
Zuckerhirse Rona	X			
Zuckerhirse Friggo	X		X	X
Zuckerhirse Super Sile 15	X			
Zuckerhirse Super Sile 18	X		X	X
Zuckerhirse Super Sile 20	X		X	X
Hirse Goliath	X			
Sudangras SUSU	X	X	X	X
Mais Doge	X	X	X	X
Mais PR38F53	X	X	X	X
Durchwachsene Silphie	X	X		

2.2 Mehrortiger Anbauvergleich Energiepflanzen

Im Rahmen des Projektes kamen die in Tabelle 2 genannten Pflanzenarten an vier Standorten zur Prüfung. Die Ernte der Pflanzen erfolgte in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium sowie dem Trockensubstanzgehalt (TS) der einzelnen Arten zu zwei bis drei terminlich versetzten Schnittzeitpunkten.

Aus allen Versuchen wurden Proben zur Bestimmung von TS und der organischen Trockensubstanz (oTS) sowie zur Untersuchung der Gehalte an den organischen Inhaltsstoffen Rohprotein, Rohfett und Rohfaser entnommen. Die stickstofffreien Extraktstoffe sind berechnet worden.

Zur Silierung kamen die in der Versuchsstation Dornburg der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) angebauten Pflanzenarten. Nach einer Silierdauer von neunzig Tagen wurden die Silagen in das Verfahrenstechnische Institut Saalfeld (VTI) zur Durchführung von Minibatch-, Batch- und kontinuierlichen Versuchen gegeben. Die Analyse der Silagen auf die o. g. Parameter schloss sich an.

2.2.1 Kurzcharakteristik der angebauten Pflanzenarten

Mais

Neben dem Einsatz von Maissilage in der Milchviehhaltung, wo sie einen erheblichen Teil des Winterfutterbedarfes deckt, wird diese auch vorzugsweise als Koferment in Biogasanlagen eingesetzt. Im Siliererfolg übertrifft Mais auf Grund seiner positiven Nährstoffzusammensetzung andere Silagearten, wie Rübenblatt, Rübenschnitzel, Gras- oder Roggensilage. Die Herstellungskosten von Maissilage bewegen sich auf einem ähnlichen Niveau wie die der Ganzpflanzengetreidesilagen.

Um einen direkten Vergleich zu den weiteren im Thema bearbeitenden Pflanzenarten ziehen zu können, waren die Energiemaissorte „Doge“ und der Silomais „PR38F53“ für Referenzaussagen im Versuchsanbau integriert. Des Weiteren kamen in einem Zweitfruchtversuch die Maissorten „Maibi“ und „Constantino“ zum Anbau.

Sudangras

Als Sorghumhirse stammt das Sudangras ursprünglich aus Afrika, wo es nur noch vereinzelt als Futterpflanze angebaut wird. Aus der Wildart wurde in relativ kurzer Zeit in den USA eine der wichtigsten Futterpflanzen gezüchtet.

Sudangras wächst auf nahezu allen Böden und stellt an die Wasserversorgung geringe Ansprüche, benötigt allerdings Temperaturen von mindestens 12 °C dauerhafte Bodentemperatur zur Aussaat und 15 °C für ein zügiges Wachstum. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt stirbt die Pflanze ab.

Diese Hirseart findet sowohl als Viehfutter als auch in der Nahrungsmittel- und Industrierohstoffproduktion Verwendung. Bei letztgenannten Verwendungsarten werden die ausgereiften Körner zu Öl- und Stärkeprodukten verarbeitet.

Beim Anbau als Futterpflanze ist darauf zu achten, dass bei Temperaturen unter 10 °C Blausäure in den Pflanzenteilen entsteht und diese sich auch in der Silage wiederfinden kann. Von einer Verfütterung ist dann abzusehen.

In den Versuchen kam die Hybridsorte „Susu“ zum Anbau.

Zuckerhirse

Wie Sudangras stellen auch die verschiedenen Sorten der Zuckerhirse keine großen Ansprüche an Boden und Wasser, jedoch sind sie ebenso frostempfindlich und wärmebedürftig. Ähnlich wie Sudangras stellt diese Hirse ihr Wachstum bei Temperaturen von unter 12 °C nahezu ein.

Hirsen werden, wie Mais, als Grünfutter verwendet und bringen bei günstigen Wachstumsbedingungen annähernd gleiche Erträge. In den USA wird die Pflanze vorwiegend zur Zucker- und Sirupherstellung genutzt. In Südafrika, Australien und Brasilien finden Zuckerhirsensorten auch zur Herstellung von Bioethanol Verwendung.

In den Versuchen im Rahmen des Projektes standen die Sorten „Friggo“, „Super Sile 15“ (SS 15), „Super Sile 18“ (SS 18), „Super Sile 20“ (SS 20), „Rona“ und „Goliath“ zu Verfügung. Die Sorte „Friggo“ ist sehr kolbenbetont und wurde im 3. Versuchsjahr wegen der niedrigen Erträge der Vorjahre nicht mehr angebaut. Die Sorten „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ zeichnen sich durch ein höheres Massenwachstum aus. Die Sorte „Super Sile 15“ ist kleinwüchsiger als die letztgenannten, dafür aber stämmiger, ähnlich der Sorte „Rona“. Die Hirse „Goliath“ ist hochwüchsig und äußerst massebetont.

Luzerne- und Klee gras

Die Saatgutmischung des auf trockeneren Standorten angebauten Luzernegrases bestand zu 80 % aus Luzerne, 5 % Lieschgras und 15 % Wiesenschwingel, die Klee grassmischung, die auf feuchten Standorten zum Anbau kam, aus 50 % Rotklee, 20 % Lieschgras und 30 % Wiesenschwingel.

Die in den Mischungen enthaltenen Gräser zeichnen sich durch eine hohe Ertragssicherheit, besonders bei trockeneren Bedingungen, aus. Die Nutzungshäufigkeit liegt je nach Standort bei zwei bis vier Schnitten pro Jahr.

Sowohl Luzerne- als auch Klee gras sind mit Zugabe entsprechender Silierhilfsmittel nicht schwieriger zu silieren als reiner Grasschnitt. Es ist jedoch zu beachten, dass das Pflanzenmaterial nach der Mahd bis zu einem Trockensubstanzgehalt von mindestens 30 % vor dem Einsilieren anwelken muss.

Topinambur

Zum Einsatz als Koferment in Biogasanlagen eignen sich theoretisch bei dieser Pflanzenart sowohl Knollen als auch Kraut. Seit geraumer Zeit gibt es Bestrebungen, Topinambur nicht nur hinsichtlich eines hohen Knollenertrages als Nahrungsmittel und zur Destillatproduktion, sondern auch auf einen hohen Krautanteil zur Biomassenutzung zu züchten.

Der Einsatz der Knollen bereitet allerdings durch den niedrigen TS-Gehalt Schwierigkeiten bei der Silierung und durch den anhaftenden Schmutz große Probleme im Biogasfermenter.

Der Anbau zur einjährigen Nutzung von Kraut und Knollen erfolgte in den Versuchen in Dammkultur, wobei die knollenbetonte Sorte „Gute Gelbe“ zum Anbau kam, der zur mehrjährigen Krautnutzung (3 Jahre) mit der massewüchsigen Sorte „Lola“ auf ebenem Acker.

Im einjährigen Anbau wurden im ersten Anbaujahr sowohl Knolle als auch Kraut zu den jeweiligen Schnittzeitpunkten geerntet und weiterverarbeitet. Aufgrund der niedrigen Erträge bei den frühen Ernten erfolgte ab dem 2. Versuchsjahr die Ernte der Knollen aller Varianten zum Termin der letzten Krauternte. Beim mehrjährigen Anbau kam nur das Kraut zur Beerntung.

Durchwachsene Silphie

Diese ausdauernde Pflanze wurden zwischen 1970 und 1980 versuchsweise zur Futternutzung angebaut. Sie zeichnet sich durch einen guten Futterwert sowie hohe und stabile Erträge aus (Dissertation Neumärkel, 1980, Halle). Die Durchwachsene Silphie stellt geringe Ansprüche an Klima und Boden und bedarf außer im Anbaujahr wenig Pflege über die gesamten Nutzungsjahre. Die landwirtschaftliche Nutzungsdauer beträgt ca. 12 bis 15 Jahre, wenn die Pflanze zur Futtergewinnung zweimal pro Jahr geschnitten wird. Bei einer einmaligen Ernte, wie

beispielsweise zur Verwendung als Koferment, ist eine wesentlich längere Nutzungsdauer wahrscheinlich.

Die Silphie wächst im ersten Jahr relativ langsam und bildet nur eine grundständige Blattrosette aus. Das Wachstum konzentriert sich in dieser Zeit auf die Ausbildung eines starken Wurzelsystems. Ein verwertbarer Biomasseertrag setzt ab dem zweiten Vegetationsjahr ein.

2.3 Verarbeitungsversuche

2.3.1 Silierversuche

Um Aussagen über die Verarbeitungseignung der angebauten Pflanzenarten treffen zu können, wurden Silierversuche mit dem Erntegut des Standortes Dornburg durchgeführt. Als Silierhilfsmittel ist ein einheitliches handelsübliches Milchsäurepräparat verwendet worden, da bei der vorhergehenden Erprobung verschiedener Hilfsmittel kein Unterschied bezüglich ihrer Wirkung auf die Qualität der Silage und die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe zu erkennen war.

Die Silierung selbst erfolgte in 1 l-Weckgläsern, indem das jeweilige zerkleinerte und homogenisierte Pflanzenmaterial so fest wie möglich in die Gläser gestopft und mit einem Silierhilfsmittel angeimpft wurde. Das Gewicht des gestopften Materials betrug im Durchschnitt 700 Gramm. Die Silagegläser lagerten dann bei einer Temperatur von 20 bis 25 °C 90 Tage in einem verdunkelten Raum. Diese Silage war sowohl das Ausgangsmaterial für die Bestimmung der relevanten Inhaltsstoffe im Labor als auch für die diskontinuierlichen Gärversuche im 1- und 20 l-Maßstab.

Mit gleicher Verfahrensweise ist auch die Silage für die drei kontinuierlichen Versuche hergestellt worden, allerdings in 60 l-PE-Fässern.

2.3.2 Minibatchversuche

Die für die Minibatchversuche als Koferment verwendeten Silagen stammten von Pflanzenmaterial unterschiedlicher Erntezeitpunkte. Vor der Silierung wurde das Erntegut zerkleinert und homogenisiert. Die verwendete Rindergülle stammte von der MPK Milchproduktion Kleingewenda/A. GmbH.

Zum Starten des anaeroben Gärprozesses wurde ausgegorenes Faulschlamm-Filtrat aus dem Überlauf des Faulturmes der biologischen Reinigungsstufe der Kläranlage Jena benutzt, welches im Folgenden als Impfschlamm bezeichnet wird.

Die Probenahme für die Bestimmung der TS- und oTS-Gehalte und für die Probeneinwaage erfolgte, indem die gesamte Ausgangsmenge der jeweiligen Silagen über einen Probenteiler gegeben wurde, um es in repräsentative Teilmengen aufzuteilen.

Die Versuchsdurchführung lief entsprechend der Vorschriften in DIN 38414 Teil 8 und der VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“.

Es wurden von jedem Kosubstrat zwei Gärversuche im 1 l-Minibatch angesetzt, wobei Rindergülle mit dem Kosubstrat und Impfschlamm vermischt wurde. Das Mischungsverhältnis betrug 80 % Rindergülle zu 20 % Kosubstrat, bezogen auf den oTS-Gehalt der Substrate.

Der Impfschlammanteil ergibt sich entsprechend einer Berechnungsformel in der VDI-Richtlinie 4630 in Abhängigkeit von der Substratzusammensetzung.

Referenzversuche mit 100 % Rindergülle und Impfschlamm erfolgten jeweils als Doppelbestimmung im 1 l-Minibatch.

Der Impfschlamm in den Versuchsansätzen ist notwendig, um günstigere Bedingungen für den Start der Vergärung zu schaffen. Um den Einfluss des Impfschlammes auf die ermittelten Gasausbeuten zu eliminieren, wurde in einem Nullversuch die Gasbildung ohne Zusätze bestimmt. Die Ergebnisse der Gärversuche sind um die Ergebnisse des Nullversuchs korrigiert.

Die Versuche wurden zeitgleich begonnen, identischen Bedingungen im Thermoraum bei 37 °C über einen Zeitraum von 30 Tagen ausgesetzt und zeitgleich beendet.

Für die Berechnung der Biogasausbeute und die Beurteilung der Abbauvorgänge während des Gärprozesses war es notwendig, den Anteil an TS und oTS am Input- und Outputmaterial zu bestimmen.

Das gebildete Biogas ist je Fermenter in einem separaten Gasbeutel aufgefangen und nach Beendigung der Versuche analysiert worden.

Die Biogasmenge konnte anhand der in den Gasbeuteln aufgefangenen Gasmenge mit dem Präzisions-Gasdurchfluss-Messgerät „M-XXSLPM-D“ der Firma GMR, Zella-Mehlis, gemessen werden. Die Ermittlung der Gaszusammensetzung (Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff und Schwefelwasserstoff) erfolgte mit dem Mehrkanal-Gasanalysator „Biogas 401“ der Firma A-DOS GmbH Aachen.

2.3.3 Batchversuche

Die Gärversuche in 20 l-Batchfermentern sind mit den Pflanzenarten:

- Energiemais „PR38F53“
- Energiemais „Doge“
- Sudangras „Susu“
- Zuckerhirse „Friggo“
- Zuckerhirse „Super Sile 20“
- Topinambur einjährig „Gute Gelbe“

durchgeführt worden.

Die Vorbereitung und Durchführung der Versuche erfolgte analog zu den Minibatchversuchen.

2.3.2 Kontinuierliche Versuche

Zur Durchführung der kontinuierlichen Versuche wurde Pflanzenmaterial der 2. Probeernte (PE) von Luzernegras, Topinambur und Durchwachsener Silphie im 2. Anbaujahr in 60 l-Fässern über einen Zeitraum von 90 Tage siliert.

Die Versuche zur Vergärung erfolgten über einen Zeitraum von 60 Tagen in einem 150 l-Biogasreaktor, der mit Rindergülle (TS-Gehalt = 8 %) und einem Koferment (Partikelgröße < 25 mm) beschickt wurde. Die tägliche Substratmischung bestand zu 80 % oTS aus Rindergül-

le und zu 20 % oTS aus Zuckerhirse. Das Reaktorvolumen betrug 120 l. Die Kofermentation erfolgte mit einer Faulraumbelastung von ca. 2 kg oTS/(m³ x d) und mit einer Verweilzeit von 40 Tagen. Der Rührer drehte sich ständig mit einer Drehzahl von 8 U/min.

Die Aufbereitung der Materialien und die Methodik der Analysen entsprachen ebenfalls der erläuterten Vorgehensweise wie bei den Minibatchversuchen.

2.4 Theoretisch mögliche Gasausbeute

Die Berechnung der theoretisch möglichen Gasausbeute (Tab. 3, 6 und 8) erfolgte nach den Vorgaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. laut „Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung“ (S. 30 - 31, 2005). Wie bereits in der Handreichung hingewiesen, bestehen zwar Parallelen zwischen der Vergärung in Biogasanlagen und dem Verdauungstrakt von Wiederkäuern, diese sind aber nur bedingt vergleichbar. Die Berechnungsmethode lässt aber dennoch eine Abschätzung der Biogas- und Methanausbeute und vor allem einen Vergleich zwischen verschiedenen Pflanzenarten oder unterschiedlichen Erntezeitpunkten zu. Die berechneten Werte dürfen aber nicht für betriebliche oder ökonomische Kalkulationen herangezogen werden.

Die für die Berechnung notwendigen Verdauungskoeffizienten (VQ) der organischen Inhaltsstoffe sind weitestgehend in der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer aufgeführt. Nicht vorhanden sind die VQ von Topinamburkraut. Hier wurde auf die für Sonnenblume geltenden VQ zurückgegriffen. Des Weiteren sind für die Durchwachsene Silphie entsprechende VQ nur in einem Bericht von Neumärkel und Märtin (1981) enthalten, die für die Berechnung Anwendung fanden.

2.5 Weiterführende anbautechnische Versuche

Zweitfruchtanbau

Ziel dieses Versuches war es, die Ertragsergebnisse von Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung zu vergleichen.

Der Versuch wurde in zwei Versuchsjahren an den Standorten Dornburg, Heßberg und Kirchengel angelegt. Als Winterzwischenfrüchte (WZF) kamen Landsberger Gemenge und Winterfutterroggen zum Anbau. Nach jeder WZF ist dann sowohl Mais als auch Sudangras ausgesät worden. Eine Variante je Art ohne vorherigen Winterzwischenfruchtanbau zum ortsüblichen Aussattermin für Silomais Ende April diente als Vergleich. Im Anschluss an die Ernte, die zum üblichen Termin für die Silomaisernte einheitlich in allen Prüfgliedern vorgenommen wurde, erfolgte die Untersuchung des Erntegutes und der Silage auf den Gehalt an organischen Inhaltsstoffen.

Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras

Der im Jahr 2006 am Standort Dornburg durchgeführte Versuch diente Untersuchungen zur Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras. Dabei erfolgte die Aussaat beider Fruchtarten zu zwei Terminen. Der erste Termin Ende April entsprach einem Anbau in Hauptfruchtstellung, der zweite Mitte Mai einer Aussaat in Zweitfruchtstellung. Die Sortenwahl erfolgte analog zum

vorab beschriebenen Zweitfruchtversuch: als Hauptfruchtmais kamen „Maibi“, als Zweitfruchtmais „Constantino“, beim Sudangras in beiden Varianten die Sorte „Susu“ zum Anbau. Geerntet wurde ab einer Wuchshöhe von ca. 50 cm im Abstand von zwei Wochen und jeweils der Ertrag und der TS-Gehalt bestimmt.

2.6 Herbizidversuche

Entscheidend für einen wirtschaftlichen Anbau der einzelnen Kulturen ist ein effizienter Pflanzenschutz, vor allem bezüglich der Bekämpfung von Unkräutern im Jungpflanzenstadium.

Da insbesondere für Topinambur und Durchwachsene Silphie keinerlei Pflanzenschutzmittel zugelassen sind, kamen in der VS Dornburg im Jahr 2005 Herbizidversuche zu den beiden Kulturen zur Anlage. Die Versuche wurden 2006 unter Einbeziehung einer Maschinenhackvariante wiederholt.

3 Ergebnisse

3.1 Mehrortiger Anbauvergleich Energiepflanzen

3.1.1 Versuchsstandort Dornburg

3.1.1.1 Erträge und theoretisch mögliche Gasausbeute in getrocknetem Pflanzenmaterial und Silage

In Dornburg kam im Projektverlauf das umfangreichste Spektrum an Pflanzenarten zum Anbau. Es umfasste im ersten Versuchsjahr 2004, neben den zwei Maissorten, Sudangras, zwei Zuckerhirsen, Topinambur im ein- und mehrjährigen Anbau sowie Luzernegras. Die Erträge sowie die theoretisch möglichen Gasausbeuten des Jahres 2004 beinhaltet Tabelle 3.

Alle geprüften Arten wurden zu drei unterschiedlichen Terminen entsprechend der Entwicklung ihres TS-Gehaltes beerntet. Lediglich beim Mais „PR38F53“ konnte wegen eines Wildschadens nur eine Probeernte erfolgen.

Beim Mais „Doge“ war der Methanertrag in der ersten Probeernte am höchsten, obwohl zu diesem Erntezeitpunkt die optimale Siloreife noch nicht erreicht war. Die Zuckerhirse „Super Sile 20“ zeigte in der 1. und 2. Probeernte vergleichbare Werte zu Mais, ebenso das Sudangras in der 2. Probeernte.

Von den angebauten Zuckerhirsen wies die Sorte „Super Sile 20“ einen wesentlich höheren Ertrag auf als die Sorte „Friggo“, die sehr frühreif und kolbenbetont war. Die Werte beider Sorten zeigen, dass der beste Ertrag zum Termin der 1. und 2. Probeernte erreicht wurde.

Ernte und Verarbeitung von Topinamburknollen war erst bei der 3. Probeernte lohnenswert, da die Pflanzen zu den früheren Ernteterminen kaum Knollen ausgebildet hatten. Da sich aber bei der Silierung dieser Knollen ein hoher Anteil Sickersaft (ca. 25 %) bildet, ist die Verarbeitung zu Silage als Topinamburganzpflanze, d. h. im Gemisch von Kraut und Knolle, überlegenswert.

Die Biomasse- und Methanerträge beim Kraut des Topinambur verdeutlichen, dass im ersten Anbaujahr sowohl bei Sorte „Gute Gelbe“, die nur im einjährigen Anbau geprüft wurde, als auch bei der Sorte „Lola“ für den mehrjährigen Anbau die 2. Probeernte die höchste Methan- ausbeute ergab. Der unterschiedlich hohe Gehalt ist nur durch die unterschiedlichen eingesetz-

ten Sorten der beiden Versuche erklärbar, da beide in 2004 angelegt wurden und somit de facto beide einjährig waren.

Bei Luzernegras zeigte sich, dass sich der Methanertrag von Blühbeginn bis Blühende nur geringfügig ändert. Der insgesamt geringe Ertrag ist damit zu begründen, dass diese Kultur im ersten Anbaujahr nur einen Schnitt zulässt.

Tabelle 3: Biogas- und Methanausbeuten sowie Biomasse- und Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2004

Substrat	Erntetermin 2004	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	16.09.	25,4	587,1	299,4	126,0	3772
Mais Doge	16.09.	28,9	568,0	295,3	158,0	4665
Mais Doge	13.10.	25,2	580,8	296,2	123,0	3643
Mais Doge	28.10.	27,2	572,9	292,2	120,0	3506
Sudangras Susu	16.09.	24,6	533,0	277,2	108,0	2994
Sudangras Susu	13.10.	28,2	497,2	258,6	124,0	3207
Sudangras Susu	28.10.	28,5	473,6	246,3	100,0	2463
Zuckerhirse Friggo	16.09.	26,0	632,7	329,0	112,0	3684
Zuckerhirse Friggo	13.10.	30,0	494,1	256,9	109,0	2800
Zuckerhirse Friggo	28.10.	32,4	469,7	244,2	94,0	2296
Zuckerhirse Super Sile 20	16.09.	26,2	534,9	278,1	146,0	4060
Zuckerhirse Super Sile 20	13.10.	29,4	479,5	244,5	136,0	3325
Zuckerhirse Super Sile 20	28.10.	29,4	473,0	246,0	114,0	2804
Topinambur einjährig Kraut	30.08.	29,5	545,9	278,4	122,0	3396
Topinambur einjährig Kraut	20.09.	35,2	547,9	279,4	147,0	4107
Topinambur einjährig Kraut	12.10.	26,0	536,3	273,5	112,0	3063
Topinambur einjährig Knolle	30.08.	23,9	680,5	347,0	14,0	485
Topinambur einjährig Knolle	20.09.	23,0	685,5	349,6	21,0	734
Topinambur einjährig Knolle	12.10.	23,2	687,2	350,4	62,0	2172
Topinambur mehrjährig Kraut	30.08.	24,7	563,5	287,4	117,0	3362
Topinambur mehrjährig Kraut	20.09.	33,5	548,3	279,6	121,0	3383
Topinambur mehrjährig Kraut	12.10.	38,8	535,4	273,0	77,0	2102
Luzerne Schröpschnitt	26.07.	19,3	534,2	293,8	84,0	2468
Luzerne, Blühbeginn	30.08.	23,4	522,0	287,1	40,0	1148
Luzerne, Vollblüte	20.09.	26,4	520,2	280,9	36,0	1011
Luzerne, Blühende	13.10.	29,6	510,5	280,8	40,0	1123

Im zweiten Versuchsjahr 2005 kam im Wesentlichen das gleiche Pflanzenspektrum zum Anbau. Lediglich die Zuckerhirsen „Super Sile 15“ und „Super Sile 18“ wurden mit je einer Probeernte neu ins Versuchsspektrum aufgenommen. Die Ergebnisse des Erntegutes und der daraus gewonnenen Silagen beinhalten die Tabellen 4 und 5.

Der Energiemais „Doge“ überzeugte auch im zweiten Versuchsjahr durch seine hohen Erträge und gleichzeitig sehr hohen Methanerträge je Hektar. Beide Maissorten „Doge“ und „PR38F53“ wiesen eine relativ stabile Silierung auf, indem kaum Silierverluste zu verzeichnen waren.

Das Sudangras erreichte zum 2. Schnitttermin den höchsten Methanertrag, der allerdings beim Silieren um fast 25 % abnahm, was möglicherweise auf eine schlechtere Siliereignung des Sudangrases hindeutet.

Ähnlich verhielten sich die Zuckerhirsesorten „Super Sile 20 und 15“. Die besten Ergebnisse erreichte hier die Hirse „Super Sile 18“ mit dem höchsten Methanertrag und einer stabilen Si-

lierung. Gleiche Ergebnisse zeigte auch die Hirse „Friggo“, die allerdings durch ihre geringen Erträge für den Anbau als Biogaspflanze ungeeignet scheint. Generell lagen die Erträge der massebetonten Zuckerhirsen „Super Sile 15, 18 und 20“ 2005 auf etwa dem gleichen Niveau wie das Sudangras, das im zweiten Projektjahr deutlich besser abschnitt als 2004.

Topinamburkraut eignet sich, wie die Methanerträge pro Hektar auch im zweiten Versuchsjahr zeigen, sehr wenig zur Nutzung als Kofermentpflanze. Die Werte lagen in etwa im Bereich der Zuckerhirsesorte „Friggo“. Der Grund ist in den sehr hohen Verlusten bei der Silierung zu suchen. Einzige Alternative wäre der Einsatz als Ganzpflanze, also die Verwendung von Kraut und Knolle, wobei hierbei wiederum die eingangs erwähnten Probleme der Sickersaftbildung und dem Eintrag von Schmutz in den Fermenter zum Tragen kämen.

Die Durchwachsene Silphie erreichte nicht nur sehr gute Methangehalte auf Grund der Zusammensetzung ihrer organischen Inhaltsstoffe, sondern sie war auch durch ihre sehr hohen Erträge die Pflanze, die den höchsten Methanertrag pro Hektar erzielte und durchaus mit dem Energiemais „Doge“ vergleichbar ist. Durch die Silierung traten nur sehr geringe Verluste auf, so dass der Methanertrag vor allem zum 2. Schnitttermin der höchste von allen untersuchten Pflanzenarten blieb.

Bei der Durchwachsenen Silphie wurden außerdem zwei Zerkleinerungsmethoden (Schneidemaschine und Häcksler) getestet, um den Einfluss unterschiedlicher Schnittlängen des Pflanzenmaterials auf die Silierbarkeit und eventuelle Veränderungen der organischen Inhaltsstoffe zu prüfen. Es traten jedoch im Vergleich zur üblichen Vorgehensweise keine nennenswerten Unterschiede auf.

Das Luzernegras im zweiten Anbaujahr erreichte die höchste Methanausbeute (l/kg oTS) zu Blühbeginn in drei Folgeschnitten. Durch einen höheren Ertrag in der Vollblüte wurde der etwas niedrigere Methangehalt zu diesem Zeitpunkt jedoch wieder ausgeglichen und die Methanerträge je Flächeneinheit waren fast identisch. Bei der Silage hingegen gab es bei der Ernte zur Vollblüte kaum Differenzen bezüglich der Methanausbeute, bei dem Schnitt zu Blühbeginn sanken die Methanausbeute und der Methanertrag von Ernte zu Ernte etwas ab.

Tabelle 4: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2005

Substrat	Erntetermin 2005	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	24.08.	28,2	541,8	295,0	160,7	4740
Mais PR38F53	07.09.	29,7	571,7	308,2	170,0	5239
Mais PR38F53	13.09.	28,3	558,8	302,8	157,2	4760
Mais Doge	24.08.	18,3	524,7	285,4	135,6	3870
Mais Doge	07.09.	22,7	557,7	301,8	190,3	5743
Mais Doge	10.10.	25,2	568,3	306,2	213,3	6531
Sudangras Susu	24.08.	22,9	540,0	292,7	121,1	2545
Sudangras Susu	07.09.	32,4	515,7	280,4	199,9	5605
Sudangras Susu	21.09.	28,0	454,6	244,5	160,2	3917
Zuckerhirse Super Sile 20	24.08.	18,3	520,2	281,3	107,1	3013
Zuckerhirse Super Sile 20	07.09.	26,0	500,4	273,4	162,1	4432
Zuckerhirse Super Sile 20	21.09.	23,4	449,2	242,7	159,1	3861
Zuckerhirse Super Sile 15	24.08.	19,2	526,6	288,1	88,6	2553
Zuckerhirse Super Sile 18	07.09.	30,6	452,3	246,3	201,3	4958
Zuckerhirse Friggo	24.08.	22,5	527,9	289,6	80,4	2328
Zuckerhirse Friggo	07.09.	24,7	499,6	274,6	94,0	2581
Zuckerhirse Friggo	21.09.	25,4	440,2	240,6	87,8	2112
Topinambur einjährig Kraut	24.08.	18,0	487,6	267,1	87,1	2326
Topinambur einjährig Kraut	07.09.	22,9	508,1	276,2	113,9	3146
Topinambur einjährig Kraut	21.09.	27,2	495,3	267,3	135,7	3627
Topinambur einjährig Kraut	10.10.	28,7	503,1	272,6	118,4	3228
Topinambur einjährig Knolle	10.10.	19,3	508,8	276,4	55,5	1534
Topinambur mehrj. Kraut	25.08.	35,4	555,2	296,2	146,6	4342
Topinambur mehrj. Kraut	07.09.	37,4	512,6	278,3	137,0	3813
Topinambur mehrj. Kraut	13.09.	41,9	530,3	283,6	155,2	4401
Durchw. Silphie, 2. J.	25.08.	25,0	601,6	325,8	146,7	4780
Durchw. Silphie, 2. J.	07.09.	30,9	588,1	319,8	208,3	6661
Durchw. Silphie, 2. J.	13.09.	27,6	619,4	337,0	185,6	6255
Luzerne Blühbeginn	02.06.	23,5	433,9	244,7	76,0	1860
	13.07.	25,1	457,6	255,1	52,4	1337
	19.08.	31,3	457,1	257,0	37,9	974
Kumuliert bzw. gemittelt			449,6	252,3	166,3	4196
Luzerne Vollblüte	02.06.	23,5	400,3	227,1	76,0	1726
	10.08.	35,0	428,9	245,3	74,0	1815
	10.10.	30,9	420,5	237,0	26,7	633
Kumuliert bzw. gemittelt			416,6	236,5	176,7	4174

Tabelle 5: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Silagen aus Biomassepflanzen, VS Dornburg 2005

Substrat	oTS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	95,0	491,65	267,87	173,0	4634
Mais PR38F53	95,5	506,13	273,38	183,0	5003
Mais PR38F53	95,3	526,69	286,06	170,2	4869
Mais Doge	93,8	484,38	262,43	146,6	3846
Mais Doge	96,6	486,96	262,17	206,1	5404
Mais Doge	94,7	524,22	281,87	226,7	6391
Sudangras Susu	93,8	439,73	238,73	131,2	3132
Sudangras Susu	94,8	441,81	237,92	186,3	4432
Sudangras Susu	91,8	421,30	227,93	170,1	3847
Zuckerhirse Super Sile 20	93,0	435,40	237,33	107,1	2542
Zuckerhirse Super Sile 20	95,1	430,93	232,73	162,1	3772
Zuckerhirse Super Sile 20	96,1	394,24	213,43	159,1	3375
Zuckerhirse Super Sile 15	91,6	397,28	219,29	95,2	2088
Zuckerhirse Super Sile 18	93,0	415,34	224,00	219,2	4910
Zuckerhirse Friggo	92,1	436,39	239,56	80,4	1926
Zuckerhirse Friggo	91,8	432,87	238,12	94,0	2238
Zuckerhirse Friggo	91,8	402,38	221,46	87,8	1945
Topinambur einjährig Kraut	88,7	338,53	187,05	96,0	1796
Topinambur einjährig Kraut	91,1	346,99	190,76	125,1	2387
Topinambur einjährig Kraut	89,8	362,00	199,95	144,2	2884
Topinambur einjährig Kraut	93,3	346,43	189,15	127,0	2403
Topinambur einjährig Knolle	86,9	866,94	466,19	59,4	2769
Topinambur mehrj. Kraut	93,8	358,27	193,27	162,8	3146
Topinambur mehrj. Kraut				147,2	Probe verworfen
Topinambur mehrj. Kraut	96,8	351,80	188,88	170,3	3217
Durchw. Silphie, 2. J.	89,7	573,05	312,38	146,7	4583
Durchw. Silphie, 2. J.	93,0	573,84	309,06	208,3	6439
Durchw. Silphie, 2. J.	88,2	572,13	311,90	185,6	5789
Durchw. Silphie, Schneidm.	88,8	575,80	312,81	208,3	6516
Durchw. Silphie, Häcksler	89,8	579,87	315,96	208,3	6582
Luzerne Schröpf.	91,7	424,90	233,02	76,0	1771
Luzerne BB 2.Sch.	91,0	408,53	223,89	52,4	1173
Luzerne BB 3.Sch.	90,9	404,74	221,94	37,9	8410
Luzerne VB 1.Sch.	91,6	426,03	233,91	74,0	1731
Luzerne VB 2.Sch.	91,6	416,10	230,13	26,7	614

Insgesamt bestätigten im zweiten Versuchsjahr am Standort Dornburg die massebetonten Zuckerhirsens, das Sudangras und das Luzernegrass sowie die Durchwachsene Silphie ihre Konkurrenzfähigkeit als Kofermentpflanze im Vergleich zu Mais. Schlechtere Ergebnisse wies der Topinambur sowohl in ein- als auch in mehrjähriger Nutzung auf. Die Zuckerhirse „Friggo“ wurde aufgrund ihrer geringen Biomasseerträge aus dem Versuchsprogramm gestrichen und im Jahr 2006 durch die aussichtsreichere Sorte „Super Sile 18“ ersetzt. Im dritten Projektjahr kamen, neben den bereits zweijährig geprüften Pflanzen, außerdem die Hirsehybriden „Rona“ und „Goliath“ zu je einem Erntetermin zum Anbau (Tab. 6 und 7).

Entgegen dem Vorjahr wies der Mais „PR38F53“ eine kontinuierliche Steigerung des Ertrages und damit verbunden auch des Methanertrages auf. Die Silierverluste waren gering und bestätigen das eben dargestellte Ergebnis.

Beim Energiemais „Doge“ ist ein Anwachsen der Methanerträge mit aufsteigenden Erntetermin in der Pflanze und der Silage zu erkennen. Die späte Sorte profitierte 2006 eindeutig durch den langen warmen Herbst, was sich in einer guten Kolbenausbildung widerspiegelte. Den für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalt erreichte „Doge“ allerdings erst Mitte Oktober. Kaum erklärbar ist der extrem hohe Methangehalt der Silageprobe der Ernte am 29. September, die den Wert des Pflanzenmaterials um mehr als 100 l/kg oTS übersteigt.

Das Sudangras schnitt 2006 in ertraglicher Hinsicht deutlich schlechter ab als im Vorjahr und kam nicht an die Ergebnisse der Zuckerhirsesorten heran. Beim Vergleich der Methangehalte in Pflanze und Silage fällt auf, dass zu den ersten beiden Ernten bei der Silierung Verluste auftraten, bei der dritten Probeernte stieg dagegen, ähnlich wie bei „Doge“ die Methanausbeute in der Silage im Vergleich zur Pflanze deutlich an.

Die Zuckerhirsen „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ bestätigten ihre Ertragsleistung der Vorjahre. Die Silierverluste lagen etwa im Bereich des Sudangrases. Die erstmalig geprüfte Sorte „Rona“ wies Erträge unter 100 dt TM/ha bei überdurchschnittlich hohen Silierverluste auf. Dagegen zeichnete sich die Hirse „Goliath“ durch einen sehr hohen Ertrag aus. Trotz der geringen Niederschläge im Juni und Juli erreichte sie Wuchshöhen von nahezu 4 m bei guter Standfestigkeit. Die Silierverluste lagen unter 10 %.

Der Topinambur im einjährigen Anbau erbrachte nur mittlere Krauterträge von unter 150 dt TM/ha. Im mehrjährigen Anbau war zu erkennen, dass die Stängelanzahl von Jahr zu Jahr zwar zunahm, diese aber immer dünner wurden und relativ schnell stark verholzten, so dass im dritten Standjahr bereits im August TS-Gehalte von über 30 % zu verzeichnen waren. Aufgrund der starken Konkurrenz der Einzeltriebe muss spätestens nach dem 2. Standjahr der Bestand durch mechanische Bodenbearbeitungsmaßnahmen, z. B. Grubbern, ausgedünnt werden. Es traten wiederum sehr hohe Silierverluste auf.

Bei der Durchwachsenen Silphie stieg sowohl im zwei- als auch im dreijährigen Bestand der Ertrag und die damit verbundene Methanproduktion von Erntetermin zu Erntetermin an. Generell waren die Erträge etwas niedriger als im Vorjahr, lagen aber durchaus im Bereich von Silomais und der ertragsreichen Zuckerhirse „Super Sile 20“. Der zweijährige Bestand wurde 2005 als Herbizidversuch angelegt und erstmals beerntet. Das Saatgut für diesen Versuch stammt aus dem Zierpflanzenhandel, was die etwas niedrigere Wuchshöhe und den früheren Blühbeginn erklärt. Insgesamt wirkte diese Herkunft etwas kompakter als die aus Nordamerika stammende Varietät im dritten Anbaujahr. Silierverluste traten bei beiden Herkunftten kaum auf und können vernachlässigt werden.

Die kumulierten Werte für Ertrag und Methanertrag der Luzerne belegen, dass auch diese Pflanze als Koferment durchaus anbauwürdig ist. So übertraf sie Sudangras und Topinambur 2006 deutlich. Dabei unterschieden sich die Ernten zu Blühbeginn und zur Vollblüte kaum voneinander. Die Silierverluste waren marginal. Erhebliche Kosten verursacht jedoch die notwendige dreimalige Ernte und Verarbeitung.

Tabelle 6: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2006

Substrat	Erntetermin 2006	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	31.08.	25,9	539,0	292,0	146,6	4281
Mais PR38F53	12.09.	31,3	572,0	308,0	161,4	4971
Mais PR38F53	25.09.	38,1	559,0	303,0	188,3	5706
Mais Doge	31.08.	20,4	551,0	298,0	158,5	4723
Mais Doge	12.09.	26,4	558,0	302,0	211,9	6399
Mais Doge	25.09.	25,7	543,0	293,0	212,2	6218
Mais Doge	13.10.	31,4	561,0	303,0	256,9	7784
Sudangras Susu	21.08.	24,9	534,0	290,0	91,8	2662
Sudangras Susu	31.08.	26,3	506,0	274,0	103,6	2839
Sudangras Susu	11.09.	27,3	455,0	245,0	111,3	2727
Zuckerhirse Super Sile 20	31.08.	23,1	539,0	293,0	139,0	4073
Zuckerhirse Super Sile 20	11.09.	24,4	508,0	274,0	163,0	4466
Zuckerhirse Super Sile 20	25.09.	34,4	447,0	242,0	210,2	5087
Zuckerhirse Rona	11.09.	26,1	536,0	289,0	95,1	2748
Hirse Goliath	11.09.	35,7	447,0	244,0	288,9	7049
Zuckerhirse Super Sile 18	31.08.	21,4	534,0	290,0	131,1	2802
Zuckerhirse Super Sile 18	11.09.	25,2	500,0	275,0	184,2	5066
Zuckerhirse Super Sile 18	25.09.	28,1	448,0	242,0	155,0	3751
Topinambur einjährig Kraut	06.09.	21,1	518,0	282,0	91,0	2566
Topinambur einjährig Kraut	15.09.	26,7	520,0	283,0	131,4	3719
Topinambur einjährig Kraut	25.09.	31,1	517,0	279,0	144,3	4026
Topinambur einjährig Knolle	13.10.	26,3	498,0	267,0	90,3	2411
Topinambur einjährig Knolle	13.10.	20,1	556,0	300,0	58,2	1746
Topinambur mehrj. Kraut	02.08.	29,2	528,0	284,0	71,8	2039
Topinambur mehrj. Kraut	16.08.	30,2	533,0	285,0	89,3	2545
Topinambur mehrj. Kraut	31.08.	32,5	508,0	274,0	100,2	2745
Durchw. Silphie, 3. J.	21.08.	25,4	601,0	326,0	158,0	5153
Durchw. Silphie, 3. J.	06.09.	24,7	668,0	361,0	177,4	6406
Durchw. Silphie, 3. J.	15.09.	33,4	692,0	373,7	202,5	7567
Durchw. Silphie, 2. J.	31.08.	26,7	603,0	327,0	134,0	4382
Durchw. Silphie, 2. J.	06.09.	30,1	597,0	324,0	156,2	5061
Durchw. Silphie, 2. J.	15.09.	31,6	602,0	327,0	164,3	5373
Luzerne Blühbeginn	02.06.	30,7	452,0	251,0	79,2	1988
	15.07.	32,7	463,0	263,0	48,1	1265
	13.09.	30,1	465,0	267,0	47,5	1268
Kumuliert bzw. gemittelt			460,0	260,3	174,6	4521
Luzerne Vollblüte	02.06.	30,7	414,0	231,0	80,7	1864
	25.07.	30,9	556,0	332,0	63,9	2122
	26.09.	30,5	597,0	365,0	37,6	1372
Kumuliert bzw. gemittelt			522,3	309,3	174,6	5358

Tabelle 7: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Silagen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Dornburg 2006

Substrat	Erntetermin 2006	oTS-Gehalt (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	31.08.	94,2	508,0	276,6	146,6	4055
Mais PR38F53	12.09.	96,2	526,8	287,3	161,4	4637
Mais PR38F53	25.09.	96,5	549,8	299,2	188,3	5634
Mais Doge	31.08.	94,6	498,7	271,5	158,5	4303
Mais Doge	12.09.	95,4	519,0	280,3	211,8	5937
Mais Doge	25.09.	95,5	754,1	403,8	212,2	8569
Sudangras Susu	21.08.	95,0	456,6	247,6	91,8	2273
Sudangras Susu	31.08.	94,4	454,1	249,1	103,7	2583
Sudangras Susu	11.09.	93,7	704,4	377,6	111,3	4203
Zuckerhirse SuperSile 20	31.08.	93,6	456,9	247,5	138,9	3438
Zuckerhirse SuperSile 20	11.09.	93,0	451,8	244,4	163,0	3984
Zuckerhirse SuperSile 20	25.09.	95,2	420,5	225,7	210,2	4744
Zuckerhirse Rona	11.09.	94,2	411,4	222,4	95,1	2115
Zuckerhirse Goliath	11.09.	94,9	424,1	227,2	288,8	6562
Zuckerhirse SuperSile 18	31.08.	92,9	455,6	246,3	131,1	3229
Zuckerhirse SuperSile 18	11.09.	94,0	452,6	245,2	184,2	4517
Zuckerhirse SuperSile 18	25.09.	93,3	418,2	226,6	155,0	3512
Topinambur einjährig Kraut	06.09.	86,8	362,0	203,2	91,0	1849
Topinambur einjährig Kraut	15.09.	88,9	363,6	202,1	131,4	2656
Topinambur einjährig Kraut	25.09.	90,6	362,2	199,8	144,3	2883
Topinambur mehrj. Kraut	02.08.	91,6	365,9	199,4	71,8	1432
Topinambur mehrj. Kraut	16.08.	93,0	365,9	199,3	89,3	1780
Topinambur mehrj. Kraut	31.08.	92,3	352,8	194,6	100,2	1950
Durchw. Silphie, 3. J.	31.08.	89,6	592,9	324,0	157,9	5116
Durchw. Silphie, 3. J.	06.09.	91,0	666,4	360,4	177,3	6390
Durchw. Silphie, 3. J.	15.09.	87,7	596,1	324,2	202,5	6565
Durchw. Silphie, 2. J.	31.08.	88,9	610,4	334,3	133,6	4466
Durchw. Silphie, 2. J.	06.09.	89,5	598,0	325,5	156,2	5084
Durchw. Silphie, 2. J.	15.09.	89,8	596,1	324,2	164,3	5323
Luzerne Schröpfschnitt	02.06.	91,6	411,0	225,4	80,8	1821
Luzerne BB 2. Schnitt	15.07.	92,0	467,9	263,7	48,1	1268
Luzerne BB 3. Schnitt	13.09.	89,8	464,6	265,2	47,5	1259
Luzerne Schröpfschnitt	02.06.	91,6	411,0	225,4	79,2	1785
Luzerne VB 2. Schnitt	25.07.	92,1	478,9	271,2	63,9	1733
Luzerne VB 3. Schnitt	26.09.	89,3	487,6	282,0	37,6	1060

Die in Abbildung 1 dargestellten Optimumerträge der Probeernten in den drei Versuchsjahren geben einen Überblick zur Anbauwürdigkeit der verschiedenen Energiepflanzen am Standort Dornburg im Vergleich zum „PR38F53“.

Es ist zu erkennen, dass der Energiemais „Doge“, die Durchwachsene Silphie, die Zuckerhirsen „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“, die Hirse „Goliath“ und das Luzernegras in ertraglicher Hinsicht mit dem Silomais konkurrieren können bzw. ihn teilweise sogar übertreffen. Die Ertragsleistung des Sudangrases „Susu“ war in starkem Maße von der Jahreswitterung abhängig und reagierte mit deutlich stärkeren Jahresschwankungen als die restlichen Prüfglieder.

Die Zuckerhirsen „Rona“, „Friggo“ und „Super Sile 15“ sind unter Dornburger Standortbedingungen zum Anbau als Kofermentpflanze nicht geeignet.

Topinambur im ein- und mehrjährigen Anbau, in den ersten beiden Versuchsjahren durchaus noch vergleichbar, sank aber im 3. Versuchsjahr völlig ab und ist zudem wegen der hohen Silierverluste problematisch.

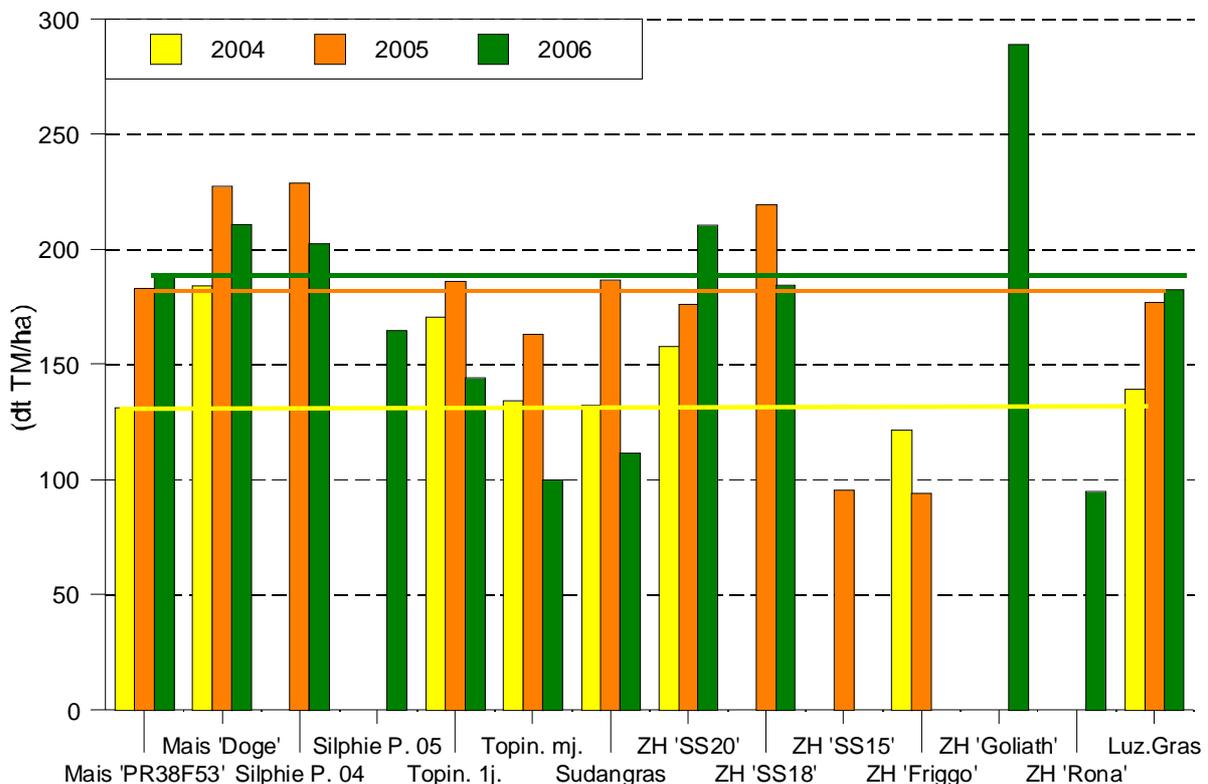


Abbildung 1: Biomasseerträge von Energiepflanzen – Optimum aus 3 Probeernten, VS Dornburg 2004 bis 2006

3.1.1.2 Gasausbeuten der Minibatchversuche

Für die diskontinuierlichen Versuche im 1 l-Minibatch-Maßstab wurde ausschließlich siliertes Pflanzenmaterial vom Versuchsstandort Dornburg verwendet. Einzige Ausnahme bildete Klee-gras, welches vom Versuchsstandort Heßberg stammte.

Die Durchführung der Gärversuche erfolgte in vier Chargen, wobei als Referenzprobe jeweils 100 % Rindergülle, ohne Koferment, vergoren wurde.

Die gemessene Methanausbeute der reinen Rindergüllevergärung gilt als Basiswert (100 %), um eine Veränderung der Gasausbeute unter Einsatz von Kofermenten zu erkennen (Tab. 8)

Tabelle 8: Methanausbeute (NI/kg oTS) unter Zusatz von Kofermenten

Substrat/Koferment	Methanausbeute (NI/kg oTS)	Methanausbeute (% zu Gülle)	TM dt oTS/ha
Rindergülle	163,9	100	
Zuckerhirse Friggo 1.PE	271,4	165,6	112
Zuckerhirse Friggo 2.PE	325,4	198,6	109
Zuckerhirse Friggo 3.PE	244,4	149,6	94
Zuckerhirse SS 20 1.PE	270,5	165,1	146
Zuckerhirse SS 20 2.PE	344,5	210,2	136
Zuckerhirse SS 20 3.PE	358,3	218,6	114
Rindergülle	190,8	100	
Mais PR38F53 1.PE	294,6	155,0	126
Mais PR38F53 2.PE	284,8	149,8	
Mais PR38F53 3.PE	249,6	131,3	
Mais Doge 1.PE	365,7	192,4	158
Mais Doge 2.PE	396,4	208,6	123
Mais Doge 3.PE	351,1	174,7	120
Kleegras	282,3	148,5	
Rindergülle	241,4	100	
Sudangras 1.PE	367,7	206,0	108
Sudangras 2.PE	334,1	187,2	124
Sudangras 3.PE	302,1	169,2	100
Luzernegras 1.PE	340,9	191,1	40
Luzernegras 2.PE	299,2	167,6	36
Luzernegras 3.PE	291,7	163,5	40
Rindergülle	241,4	100	
Topinambur Kraut mehrj. 1.PE	366,23	152,0	117
Topinambur Kraut mehrj. 2.PE	356,5	148,0	121
Topinambur Kraut mehrj. 3.PE	402,5	167	77
Topinambur Kraut einj. 1.PE	326,6	135	122
Topinambur Kraut einj. 2.PE	333,23	138	147
Topinambur Kraut einj. 3.PE	348,4	144	112
Topinambur Knolle einj. 1.PE	388,1	161	14
Topinambur Knolle einj. 2.PE	275,1	114	21
Topinambur Knolle einj. 3.PE	353,3	146	62

Wie aus den Werten ersichtlich, wies die Zuckerhirse „Friggo“ in der 2. Probeernte sowohl die höchste Methanausbeute als auch den höchsten Methanertrag auf. Die Zuckerhirse „Super Sile 20“ hingegen verzeichnete den höchsten Ertrag in der 1. und die höchste Methanausbeute in der 3. PE. Die 2. PE erreichte aber auch gute Werte bezüglich Ertrag und Methanausbeute.

Bei der Maissorte „Doge“ ist die 1. PE zu favorisieren, obwohl die Methanausbeute in der 2. PE höher war. Ein höherer Ertrag überwog hier allerdings.

Die Maissorte „PR38F53“ zeigte in der 1.PE den höchsten Methanertrag. Eine Beziehung zum Ertrag kann nicht hergestellt werden, da die letzten beiden Ernten einem Wildschaden zum Opfer fielen und nur noch Pflanzenmaterial zur Silierung zur Verfügung stand.

Klee- und Luzernegras werden im 2. Projektjahr näher untersucht, da die Versuche im 1. Jahr nur einen Schnitt zuließen, was ein aussagefähiges Ergebnis nicht möglich macht. Zu erkennen ist nur, dass bei Luzernegras die Methanausbeute mit jeder Probeernte rückläufig ist und der Ertrag fast stabil bleibt.

Die Topinambursorte „Lola“ unterschied sich bei den Ernteterminen im ersten von drei Anbaujahren nicht wesentlich hinsichtlich Methanausbeute und Ertrag. Die Sorte „Gute Gelbe“ hingegen wies einen hohen Ertrag in der 2. und die beste Methanausbeute in der 3. PE aus. Die dazugehörigen Knollen dieser als einjährige Kultur angebauten Art hatten in der 3. PE den höchsten Ertrag und eine mittlere Methanausbeute. Es empfiehlt sich demzufolge die Ernte als Ganzpflanze für die Verarbeitung in einer Biogasanlage, wenn dies verfahrenstechnisch realisierbar ist.

3.1.1.3 Gasausbeuten der Batchversuche

Die Tabellen 9 und 10 beinhalten eine Zusammenstellung der TS- und oTS-Gehalte der Rindergülle sowie der eingesetzten Kosubstrate.

Tabelle 9: TS- und oTS-Werte der Rindergülle vom 23.01.2006

	TS-Gehalt (%)	oTS-Gehalt bezogen auf TS (%)	oTS-Gehalt bezogen auf OS (%)
Probe 1	8,8	84,03	7,35
Probe 2	8,8	86,61	7,53
Probe 3	8,6	84,19	7,28
Mittelwert	8,7	84,95	7,38

Tabelle 10: TS- und oTS-Werte der Kosubstrate

	TS-Gehalt (%)	oTS-Gehalt bezogen auf TS (%)	oTS-Gehalt bezogen auf OS (%)
Mais PR38F53			
Probe 1	25,4	95,43	24,27
Probe 2	25,2	95,21	24,02
Probe 3	25,5	95,79	24,44
Mittelwert	25,4	95,48	24,24
Mais Doge			
Probe 1	21,0	94,51	19,86
Probe 2	19,9	94,06	18,72
Probe 3	20,2	94,36	19,11
Mittelwert	20,4	94,31	19,23
Sudangras Susu			
Probe 1	25,8	93,93	24,22
Probe 2	26,0	94,30	24,51
Probe 3	26,1	94,42	24,67
Mittelwert	26,0	94,22	24,46
Zuckerhirse Friggo			
Probe 1	21,4	90,22	19,31
Probe 2	21,6	90,69	19,58
Probe 3	21,4	91,21	19,51
Mittelwert	21,5	90,71	19,47
Zuckerhirse Super Sile			
Probe 1	21,6	92,26	19,90
Probe 2	21,1	92,45	19,52
Probe 3	21,2	92,11	19,55
Mittelwert	21,3	92,27	19,66
Topinambur			
Probe 1	23,7	90,03	21,32
Probe 2	23,5	93,16	21,91
Probe 3	23,6	89,72	21,18
Mittelwert	23,6	90,97	21,47

Es fällt auf, dass der Gehalt an oTS, bezogen auf TS, bei den eingesetzten Kosubstraten immer über 90 % liegt, während in Rindergülle nur etwa 85 % zu finden sind. Die Ursache hierfür ist die bereits stattgefunden biologische Verwertung der organischen Bestandteile in der Rindergülle. Damit wurde zum einen der Gehalt an anorganischer Trockensubstanz (Asche) erhöht, zum anderen sind die besonders gut verwertbaren Bestandteile im Verdauungstrakt des Rindes verblieben, so dass nur schwerer aufschließbare Teile in die Gülle gelangen. Weiterhin sei noch auf thermisch zersetzliche anorganische Komponenten (Harnstoff u. ä.) verwiesen, welche fälschlicherweise in den oTS-Anteil eingerechnet werden und so zu einem überhöhten oTS-Wert führen können.

Ergebnisse der Gärversuche nach Abzug des Impfschlammanteils

Die Ergebnisse der Vergärung von Rindergülle im 20 l-Batchfermenter sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Die Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei Rindergüllevergärung verdeutlicht Abbildung 2.

Tabelle 11: Vergärung von Rindergülle

Parameter	Dimension	Fermenter 1
Biogasmenge	I_N	20
Biogausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	182
Biogausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	13
Methanmenge	I_N	13
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	117
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	9
durchschnittlicher Methangehalt	%	58
durchschnittlicher H_2S -Gehalt	ppm	4

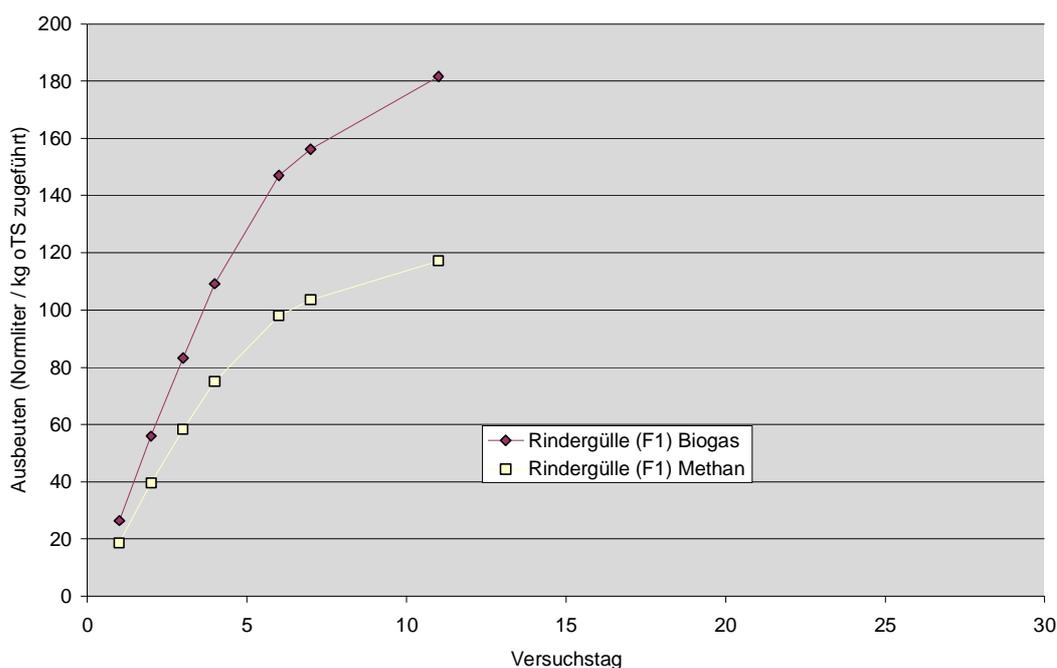


Abbildung 2: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Vergärung von Rindergülle im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normliter/kg oTS

Die in Abbildung 2 dargestellten Kurven der Biogas- und Methanproduktion zeigen, dass nach dem 11. Tag keine unter den verfügbaren Bedingungen messbaren Biogasmengen mehr entstanden. Da das genutzte Messgerät eine Mindestmenge an Gas benötigt, um zu realistischen Werten zu gelangen, muss bei der Vergärung von Rindergülle ein Fehler über die Gesamtzeit mit einkalkuliert werden. Jedoch wird bei genauerer Betrachtung der Werte auch deutlich, dass die gebildete Biogasmenge bis zum 11. Tag bereits wesentlich geringer ist als bei den folgenden Versuchen zur Kofermentation von Rindergülle und variablem Kosubstrat.

Der Verlust, welcher durch die nur sehr geringe Biogasbildung aus Rindergülle bis zum 30. Tag eingetreten ist, wird auf 10 bis 20 % noch gebildetes Gas geschätzt, welches durch die extrem langen Standzeiten in dem Gasmessbeutel nicht mehr zu bestimmen war, da Diffusionsverluste eine exakte Bestimmung nicht mehr gestatteten.

In den folgenden Tabellen und Abbildungen sind die Ergebnisse der Kofermentation von Rindergülle mit den vom Auftraggeber vorgegebenen Pflanzenmaterialien zusammengestellt. Auf eine Darstellung von Mittelwerten wurde bewusst verzichtet, da die gefundenen Abweichungen in der Natur der Materialien liegen oder (in einem Fall) ein Messfehler zu diskutieren ist.

Kovergärung Rindergülle und Mais „Doge“ – 20 l-Batchfermenter (Tab. 12, Abb. 3)

(oTS-Verhältnis Rindergülle : Mais „Doge“ = 80 : 20)

Tabelle 12: Vergärung von Rindergülle und Mais „Doge“

Parameter	Dimension	Fermenter 2	Fermenter 3
Biogasmenge	I_N	69	63
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	605	552
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	51	46
Methanmenge	I_N	40	36
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	352	319
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	30	27
durchschnittlicher Methangehalt	%	58	58
durchschnittlicher H_2S -Gehalt	Ppm	0	0

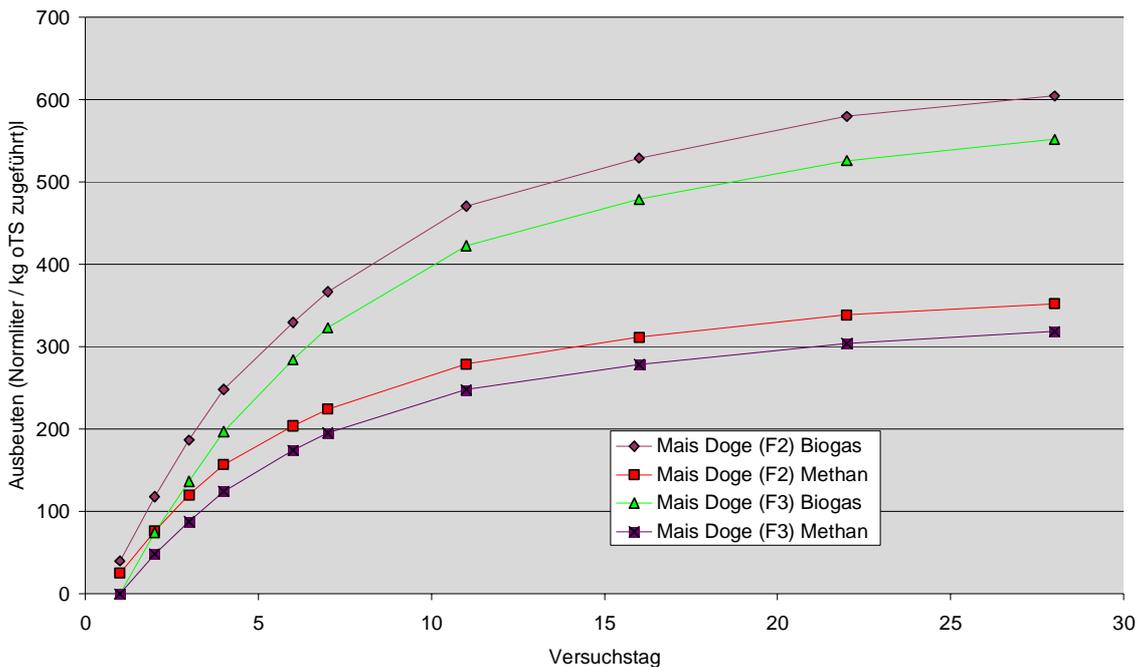


Abbildung 3: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Mais „Doge“ im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normliter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Mais „Doge“ = 80 : 20)

Offensichtlich werden durch Inhomogenitäten im Kosubstrat in beiden Fermentern unterschiedliche Biogasmengen gebildet. Besonders die Maissorte „Doge“ zeigt Abweichungen der Summenkurven über den Versuchsverlauf. Deren Hauptursache sollte in der Zusammensetzung der Silage zu suchen sein, da bei der Versuchsvorbereitung kaum zwischen Stängel-, Blatt- und Korn-/Kolbenmaterial unterschieden werden kann. Nur eine wesentlich höhere Datendichte würde eine Verdichtung der Messwerte (Kurvenschar) und eine verlässliche Bestimmung eines Durchschnittswertes erlauben. Jedoch liegen die ermittelten Werte für beide Maissorten im Bereich der Literaturangaben.

Kovergärung Rindergülle und Mais „PR38F53“ – 20 l-Batchfermenter (Tab.13, Abb. 4)
(oTS-Verhältnis Rindergülle : Mais „PR38F53“ = 80 : 20)

Tabelle 13: Vergärung von Rindergülle und Mais „PR38F53“

Parameter	Dimension	Fermenter 4	Fermenter 5
Biogasmenge	I_N	70	69
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	609	602
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	52	52
Methanmenge	I_N	40	40
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	351	349
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	30	30
durchschnittlicher Methangehalt	%	58	58
durchschnittlicher H_2S -Gehalt	ppm	0	0

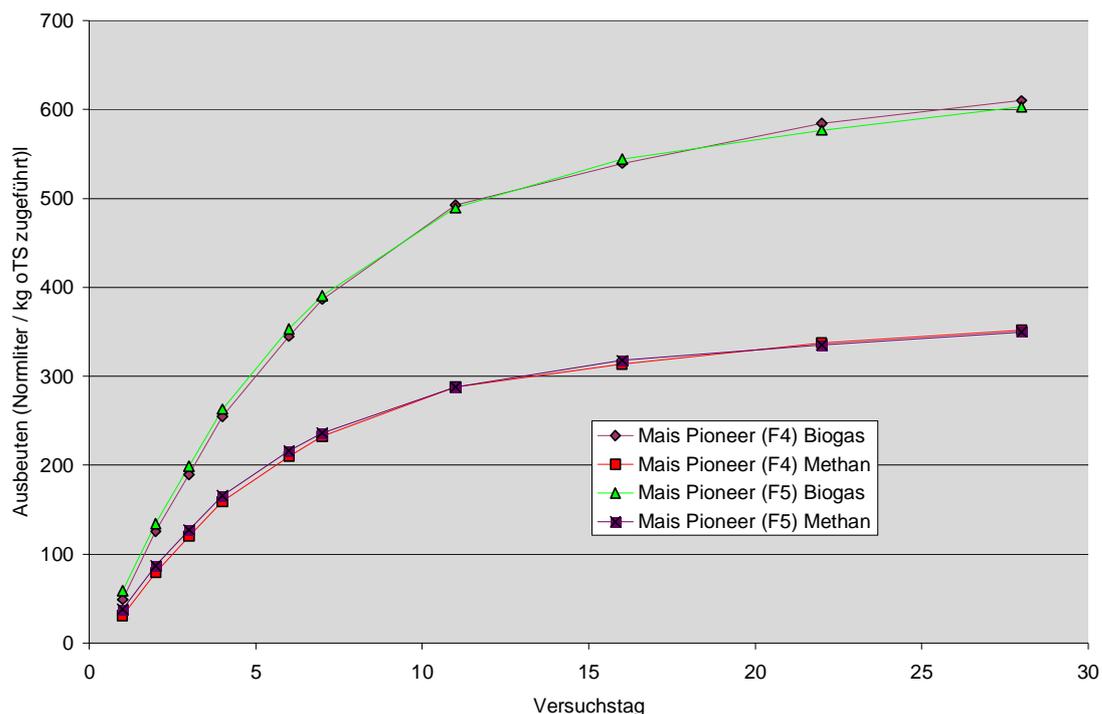


Abbildung 4: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Mais „PR38F53“ im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normliter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Mais „PR38F53“ = 80 : 20)

Kovergärung Rindergülle und Sudangras „Susu“ – 20 l-Batchfermenter (Tab. 14, Abb. 5)
(oTS-Verhältnis Rindergülle : Sudangras „Susu“ = 80 : 20)

Tabelle 14: Vergärung von Rindergülle und Sudangras „Susu“

Parameter	Dimension	Fermenter 6	Fermenter 7
Biogasmenge	I_N	80	78
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	698	682
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	60	58
Methanmenge	I_N	46	45
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	405	397
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	35	34
durchschnittlicher Methangehalt	%	58	58
durchschnittlicher H ₂ S-Gehalt	ppm	0	0

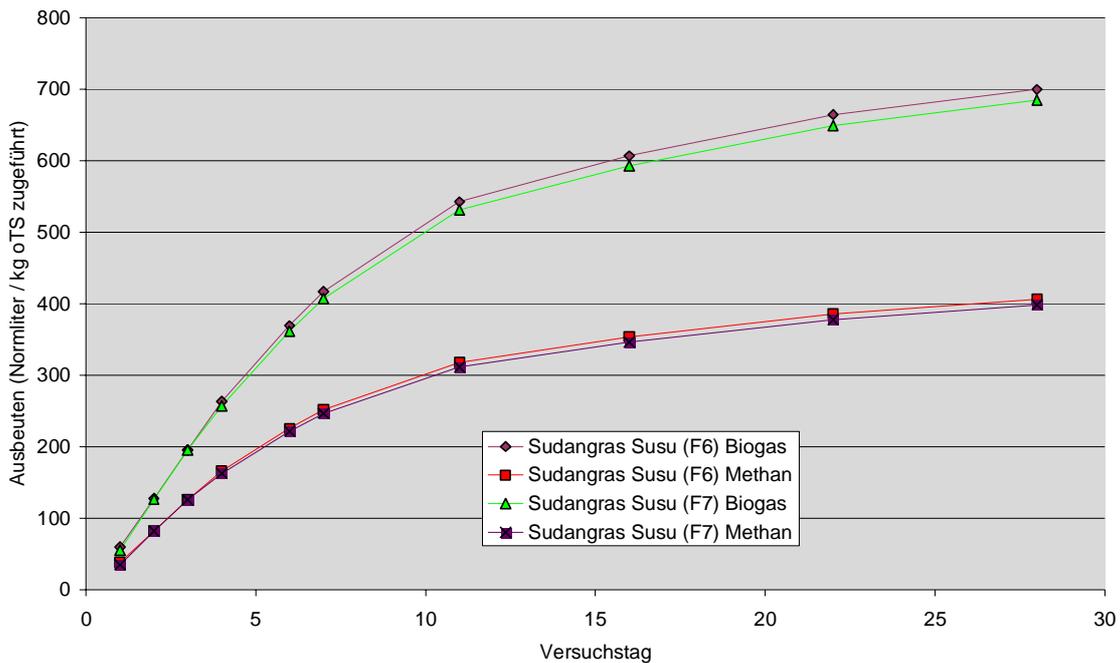


Abbildung 5: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Sudangras „Susu“ im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normlitter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Sudangras „Susu“ = 80 : 20)

Die gefundenen geringen Abweichungen zwischen den Kurvenverläufen lassen sich auf einen Messfehler am Tag 11 bei der Untersuchung der Gasprobe aus Fermenter 7 zurückführen. Da die Werte bei den folgenden Messungen wieder identisch waren, verlaufen die Kurven parallel bis zum Ende der Versuchsperiode.

Damit sollten die Messdaten aus dem Fermenter 6 in die weiteren Untersuchungen einbezogen werden, weil sie realistischer und weniger fehlerbehaftet scheinen. Die bei dieser Messung bestimmten Biogasausbeuten waren die höchsten der in der Messreihe festgestellten Werte.

Kovergärung Rindergülle und Hirse „Super Sile 20“ – 20 l-Batchfermenter (Tab. 15, Abb. 6)
(oTS-Verhältnis Rindergülle : Zuckerhirse „Super Sile 20“ = 80 : 20)

Tabelle 15: Vergärung von Rindergülle und Zuckerhirse „Super Sile 20“

Parameter	Dimension	Fermenter 8	Fermenter 9
Biogasmenge	I_N	70	73
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	616	638
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	52	54
Methanmenge	I_N	40	42
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	356	372
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	30	31
durchschnittlicher Methangehalt	%	58	58
durchschnittlicher H_2S -Gehalt	ppm	0	0

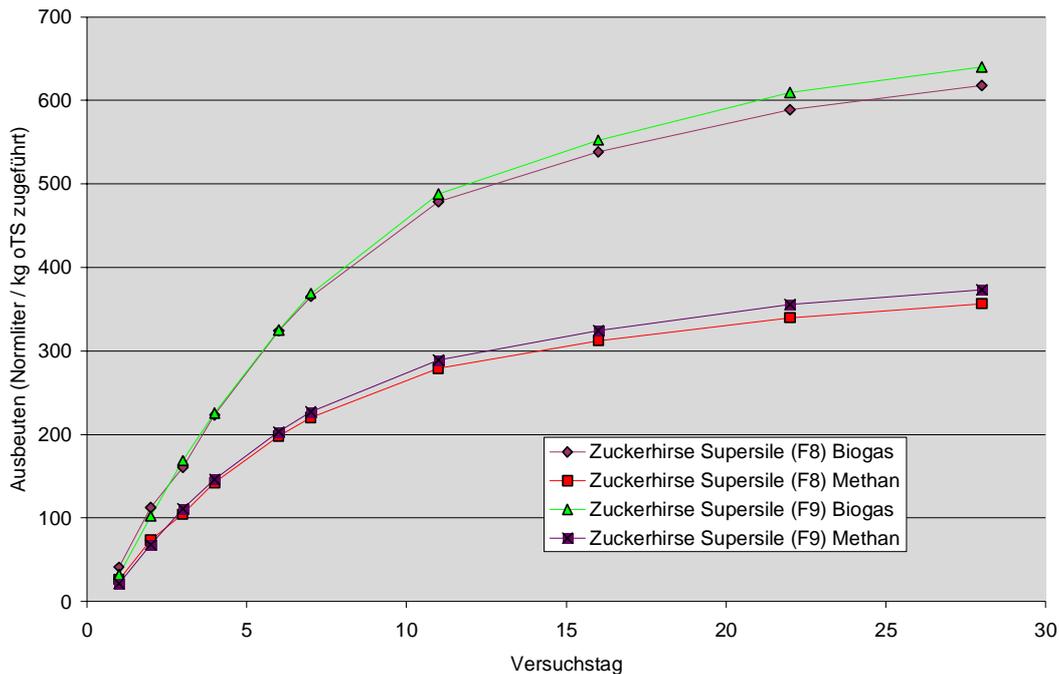


Abbildung 6: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Zuckerhirse „Super Sile 20“ im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normlitter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Zuckerhirse „Super Sile 20“ = 80 : 20)

Die Messdaten der beiden Fermentationen von Zuckerhirse in diesem wie im folgenden Versuch sind weitgehend identisch, was auf ein fast homogenes und gut verwertbares Material schließen lässt. Da jedoch die Ausbeuten an Biogas etwas unterschiedlich sind (620 zu 660 Normlitter/kg oTS), ist hier ein Einfluss des Pflanzenmaterials zu vermuten, der nicht durch die Fermentation zu beeinflussen ist.

Kovergärung Rindergülle und Zuckerhirse „Friggo“ – 20 l-Batchfermenter (Tab. 16, Abb. 7)
(oTS-Verhältnis Rindergülle : Zuckerhirse „Friggo“ = 80 : 20)

Tabelle 16: Vergärung von Rindergülle und Zuckerhirse „Friggo“

Parameter	Dimension	Fermenter 10	Fermenter 11
Biogasmenge	I_N	75	76
Biogausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	661	663
Biogausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	56	56
Methanmenge	I_N	44	45
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	391	392
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	33	33
durchschnittlicher Methangehalt	%	59	59
durchschnittlicher H_2S -Gehalt	ppm	8	6

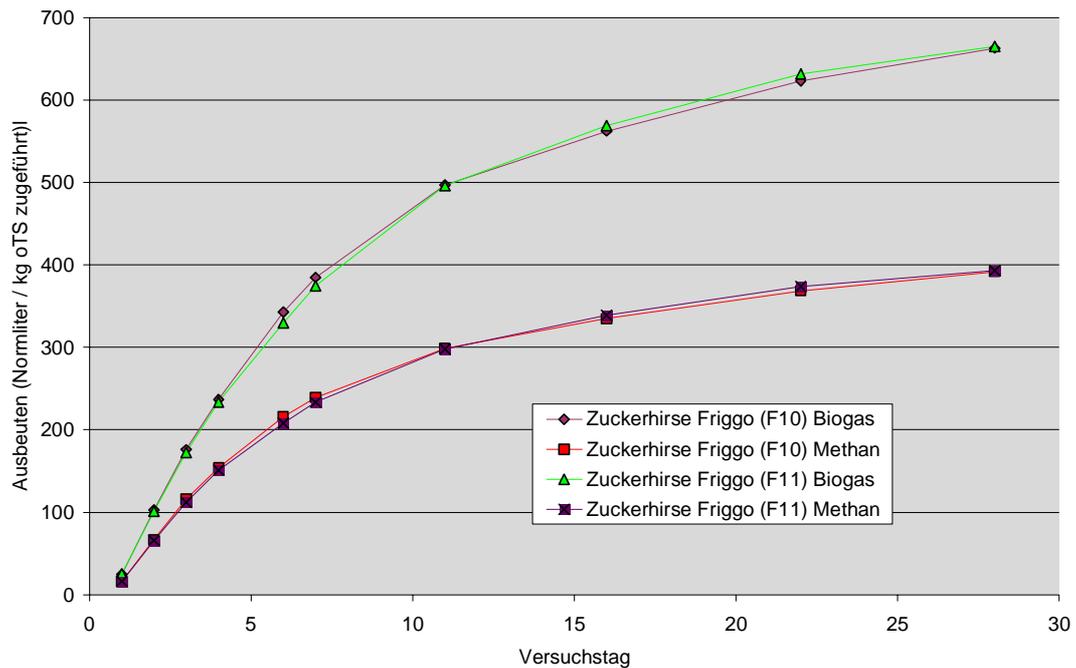


Abbildung 7: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Zuckerhirse „Friggo“ im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normlitter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Zuckerhirse „Friggo“ = 80 : 20)

Auch hier ist eine sehr gute Übereinstimmung der Kurvenverläufe festzustellen, die zeigt, dass ein gut verwertbares, homogenes Material vorliegt. Tendenziell scheinen die Biogas- und Methanausbeuten bei der Sorte „Friggo“ etwas höher zu liegen als bei der Sorte „Super Sile 20“. Endgültige Aussagen dazu sollten jedoch erst nach weiteren Versuchen getroffen werden.

Kovergärung Rindergülle und Topinamburknollen – 20 l-Batchfermenter (Tab. 17, Abb. 8)
(oTS-Verhältnis Rindergülle : Topinamburknollen = 80 : 20)

Tabelle 17: Vergärung von Rindergülle und Topinamburknollen

Parameter	Dimension	Fermenter 12	Fermenter 13
Biogasmenge	I_N	74	73
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	650	640
Biogasausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	55	54
Methanmenge	I_N	44	43
Methanausbeute	$I_N/\text{kg oTS}_{zu}$	384	380
Methanausbeute	$I_N/\text{kg OS}_{zu}$	33	32
durchschnittlicher Methangehalt	%	59	59
durchschnittlicher H ₂ S-Gehalt	ppm	0	0

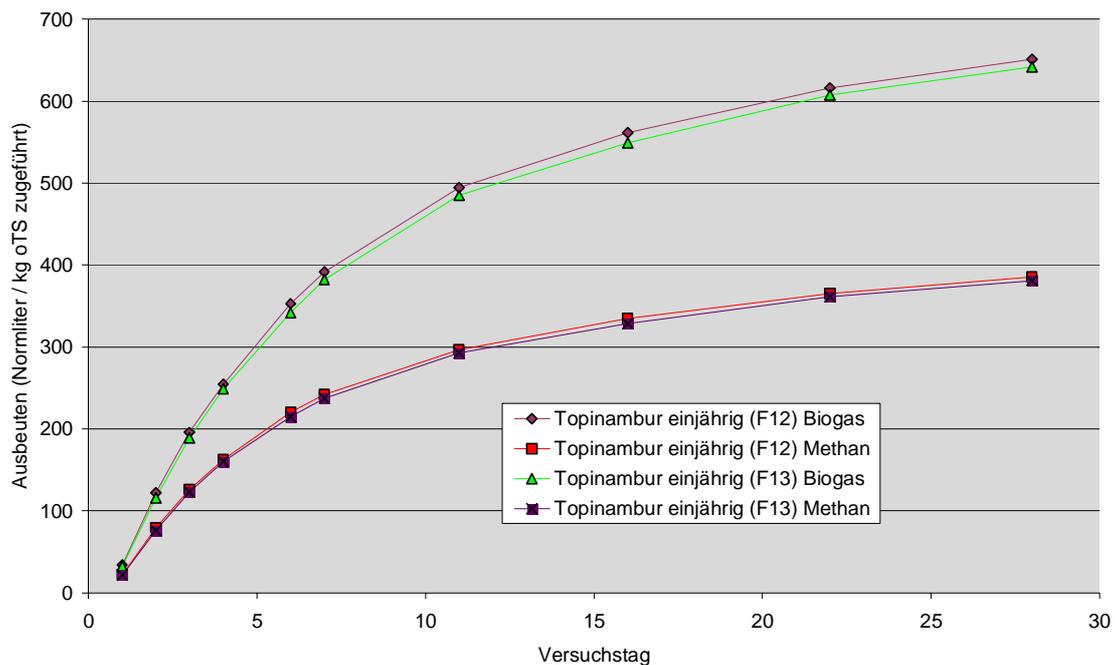


Abbildung 8: Zeitabhängigkeit der Biogas- und Methanbildung bei der Kovergärung von Rindergülle und Topinambur einjährig im 20 l-Batchfermenter bez. auf Normlitter/kg oTS (oTS-Verhältnis Rindergülle : Topinambur, einjährig = 80 : 20)

Ebenso wie die Werte aus den Fermentationsversuchen von Zuckerhirse stimmen auch bei Topinambur die Messwerte beider Versuche über den gesamten Kurvenverlauf sehr gut überein.

Bemerkenswert ist, dass die Methangasgehalte aller untersuchten Substrate im Bereich knapp unter 60 % liegen, was zum einen zeigt, dass neben dem pflanzlichen Eiweiß in erster Linie Kohlenhydrate in den Stoffwechsel einbezogen sind und dass zum anderen die Kohlenhydratverwertung vergleichsweise geringe Methangehalte im Biogas liefert, was rein vom Chemismus her absolut verständlich erscheint.

Betrachtungen zum oTS-Abbau in den diskontinuierlichen Gärversuchen

Der oTS-Abbau im Gärsubstrat wurde mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Zum einen wurden die gemessenen Gasvolumina in Mengen umgerechnet und diese in Beziehung zur eingesetzten oTS gesetzt. Zum anderen wurde die im Gärrest verbliebene oTS bestimmt und dieser Wert genutzt, um den oTS-Abbau zu verifizieren (Tab. 18).

Beide Verfahren sind nicht fehlerfrei und es ist erforderlich eine Reihe von Annahmen bzw. Bedingungen den Bestimmungen zu Grunde zu legen, welche im Folgenden zusammengestellt sind:

- Der Masseverlust durch Biogasbildung aus dem Impfschlammanteil sowie die oTS-Änderung im Impfschlammanteil sind in der Gesamtmenge des Gärsubstrates zu vernachlässigen.
- Das entstehende Biogas besteht nur aus Kohlendioxid und Methan. Spurengase werden vernachlässigt.

- Wasserverluste (als Wasserdampf) werden ebenfalls vernachlässigt.
- Das eingewogene Material ist stets homogen und identisch mit dem eingesetzten Material bzw. mit dem Gärrückstand.
- Der Verlust an organischem Material bei der TS-Bestimmung wird vernachlässigt.

Tabelle 18: Vergleich der Werte des oTS-Abbaus - ermittelt über Gasausbeute und über die oTS-Messung des Gärrückstands (oTS-Verhältnis Rindergülle : Kosubstrat = 80 : 20)

	oTS-Abbau [%] über Gasmenge	oTS-Abbau [%] über Gärrückstand
F1 – Rindergülle (RG)	18,9	73,8
F2 – RG + Mais Doge	72,0	79,3
F3 – RG + Mais Doge	66,1	80,4
F4 – RG + Mais Pioneer	73,1	77,1
F5 – RG + Mais Pioneer	72,1	75,9
F6 – RG + Sudangras Susu	83,5	80,7
F7 – RG + Sudangras Susu	81,6	80,6
F8 – RG + Zuckerhirse Super Sile	73,9	79,4
F9 – RG + Zuckerhirse Super Sile	76,1	79,4
F10 - RG + Zuckerhirse Friggo	78,2	79,4
F11 - RG + Zuckerhirse Friggo	78,4	78,3
F12 - RG + Topinambur	77,0	74,9
F13 - RG + Topinambur	75,6	73,7

Der oTS-Abbau bei reiner Rindergülle erscheint bei der Berechnung über die Gasmenge als zu niedrig, jedoch ist die bis zum 11. Tag gemessene Gasmenge bereits bedeutend geringer (etwa 40 %) als in den Versuchen zur Kofermentation. Bei einer Addition des Bestimmungsfehlers, welcher der Gasmenge von 20 % entsprechen würde, ist lediglich mit einer Zunahme des Abbaus von etwa 18 auf 23 % zu rechnen.

Es wird eingeschätzt, dass selbst bei einem höheren Fehler bei der Gasmessung im Fermenter 1 der oTS-Abbau über die Gasmenge genauer zu bestimmen ist, als über den Gärrückstand. Das wird insbesondere an dem viel zu hohen Wert für den Abbau von Rindergülle deutlich. Eine Erklärung für diesen zu hohen Wert konnte noch nicht befriedigend gegeben werden, jedoch erscheint der kleinere Wert logisch, da die Inhaltsstoffe der Rindergülle bereits als verdaut gelten müssen und so ein wesentlich weniger gehaltvolles Substrat zur Verfügung steht.

Für die diskontinuierlichen Versuche im 20 l-Batch-Maßstab wurde ausschließlich siliertes Pflanzenmaterial vom Versuchsstandort Dornburg verwendet. Die Durchführung der Gärversuche erfolgte in einer Charge, wobei als Referenzprobe 100 % Rindergülle, ohne Koferment, vergoren wurde.

Als Basiswert wird wieder die reine Rindergüllevergärung angesehen und zu 100 % gesetzt, um eine Veränderung der Gasausbeute unter Einsatz von Kofermenten zu erkennen (Tab. 19).

Tabelle 19: Methanausbeute (NI/kg oTS) unter Zusatz von Kofermenten

Substrat/Koferment	Methanausbeute (NI/kg oTS)	Methanausbeute (% zu Gülle)	TM dt oTS/ha	Methananstieg zu 100% RG
Rindergülle	117	100		
Zuckerhirse Friggo 2.PE	335	286	94	17484
Zuckerhirse SS 20 2.PE	350	299	162	32238
Mais PR38F53 2.PE	401	342	170	41140
Mais Doge 2.PE	364	311	213	44943
Sudangras 2.PE	391	334	200	46800
Topinambur Kraut inj. 2.PE	382	326	55	12430

Als Möglichkeit der Auswertung der Gärversuche wird die prozentuale Veränderung der Methanausbeute unter dem Gesichtspunkt des verhältnismäßigen Austausches, berechnet auf die oTS von Rindergülle, durch ein Koferment gesehen.

Wie aus den Werten des zuzüglichen Methananstieges zu 100 % Rindergülle (RG) ersichtlich ist, wies Sudangras die positivste Ertragsausbeute auf. Die beiden Maissorten lagen nur wenig darunter, wobei der Mais „Doge“ noch bessere Ausbeuten hatte als der Energiemais „PR38F53“. Bei Zugrundelegung der Ertragsergebnisse des Standortes Müllheim, wo der Ertrag beim Mais „Doge“ bei 266,5 dt oTS/ha lag, ergäbe sich, bei prozentual gleichen organischen Inhaltsstoffen, eine Methanausbeute von 56231 NI Methan je Hektar Anbaufläche. Die Zuckerhirse „Super Sile 20“ erreichte noch akzeptable Methanausbeuten, wohingegen die Zuckerhirse „Friggo“ und auch Topinamburknollen auf Grund ihrer geringen Ernteerträge für den Einsatz als Koferment wenig geeignet sind.

Topinamburknollen wären nur wirtschaftlich, wenn diese zusammen mit dem Topinamburkraut siliert und verarbeitet werden würden. Die Verschmutzung der Knollen birgt aber große Gefahren für den technischen und technologischen Ablauf im Biogasreaktor.

3.1.1.4 Gasausbeuten der kontinuierlichen Versuche

Eine Zusammenstellung der TS und oTS-Werte der eingesetzten Rohstoffe beinhalten die Tabellen 20 und 21.

Tabelle 20: TS- und oTS- Werte der Rindergülle vom 23.01.2006

	TS-Gehalt in %	oTS-Gehalt bezogen auf TS in %	oTS-Gehalt bezogen auf OS in %
Probe 1	8,8	84,03	7,35
Probe 2	8,7	86,61	7,53
Probe 3	8,6	84,19	7,28
Mittelwert	8,7	84,95	7,38

Tabelle 21: TS- und oTS-Werte der Kosubstrate

	TS-Gehalt in %	oTS-Gehalt bezogen auf TS in %	oTS-Gehalt bezogen auf OS in %
Lucerne			
Probe 1	28,3	90,63	25,63
Probe 2	28,8	90,48	26,09
Probe 3	28,6	90,71	25,95
Mittelwert	28,6	90,60	25,88
Durchwachsene Silphie			
Probe 1	26,8	90,30	24,18
Probe 2	27,0	90,29	24,42
Probe 3	27,1	90,70	24,61
Mittelwert	27,0	90,43	24,41
Topinambur			
Probe 1	41,3	94,67	39,10
Probe 2	41,8	94,05	39,33
Probe 3	41,6	93,80	38,97
Mittelwert	41,6	94,17	39,14

Versuchsdurchführung und Ergebnis der Versuche zum kontinuierlichen anaeroben Abbau von Rindergülle in Gegenwart verschiedener Kosubstrate

Über einen Zeitraum von 60 Tagen (30.01.06 – 31.03.06) wurde pro Substrat jeweils ein 150 l-Bioreaktor (Abb. 9) mit Rindergülle und dem jeweiligen Kosubstrat beschickt. Die täglich zugeführte Substratmischung bestand zu 80 % oTS aus der Rindergülle und 20 % oTS aus dem jeweiligen Kosubstrat. Das Reaktionsvolumen betrug 120 l. Die Kofermentation erfolgte mit einer Faulraumbelastung von etwa 2 kg oTS/(m³ x d) und mit einer Verweilzeit von 40 Tagen. Der Rührer drehte sich ständig mit einer Drehzahl von 8 U / min.



Abbildung 9: Bioreaktoren zur Durchführung von kontinuierlichen Versuchen zum anaeroben Abbau von Biomasse (Nutzvolumen: 120 l, T = 37 °C)

Aus den Daten der Tabellen 20 und 21 und den Vorgaben der TLL wurden die Zusammensetzungen der Fermentationsmischungen (Wasser und Impfschlamm) zu Beginn des Versuches

festgelegt. Im Verlauf der Untersuchungen wurden täglich 3 kg Material entnommen und durch 3 kg frisches Material (Kosubstrat, Rindergülle, Wasser) ersetzt (Tab. 22).

Tabelle 22: Zusammensetzung der Fermentationsmischungen zu Beginn des Versuches

	Luzerne Fermenter 1	Durchwachsene Silphie Fermenter 2	Topinambur Fermenter 3
Impf Schlamm	60 kg	60 kg	60 kg
Wasser	57 kg	57 kg	57 kg
tägliche Beschickung			
Kosubstrat	185 g	197 g	123 g
Rindergülle	2601 g	2601 g	2601 g
Wasser	214 g	214 g	214 g

In Abbildung 10 sind die täglichen Ausbeuten an Biogas und Methan zusammengestellt. Trotz der prozessbedingten Schwankungen ist ein Trend zu erkennen, welcher sich auch in den in Abbildung 11 gezeigten CH_4 - zu CO_2 -Verhältnissen und den in Tabelle 23 zusammengestellten Durchschnittswerten widerspiegelt.

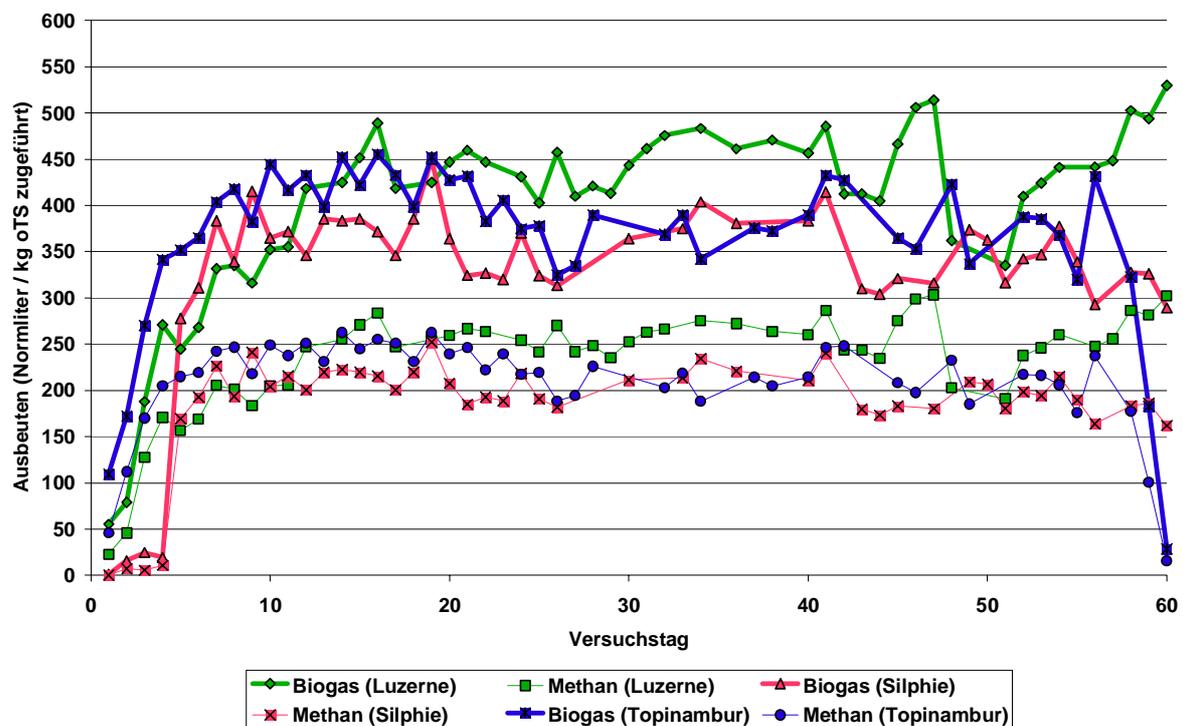


Abbildung 10: Tägliche Ausbeuten von Biogas und Methan im Verlauf des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

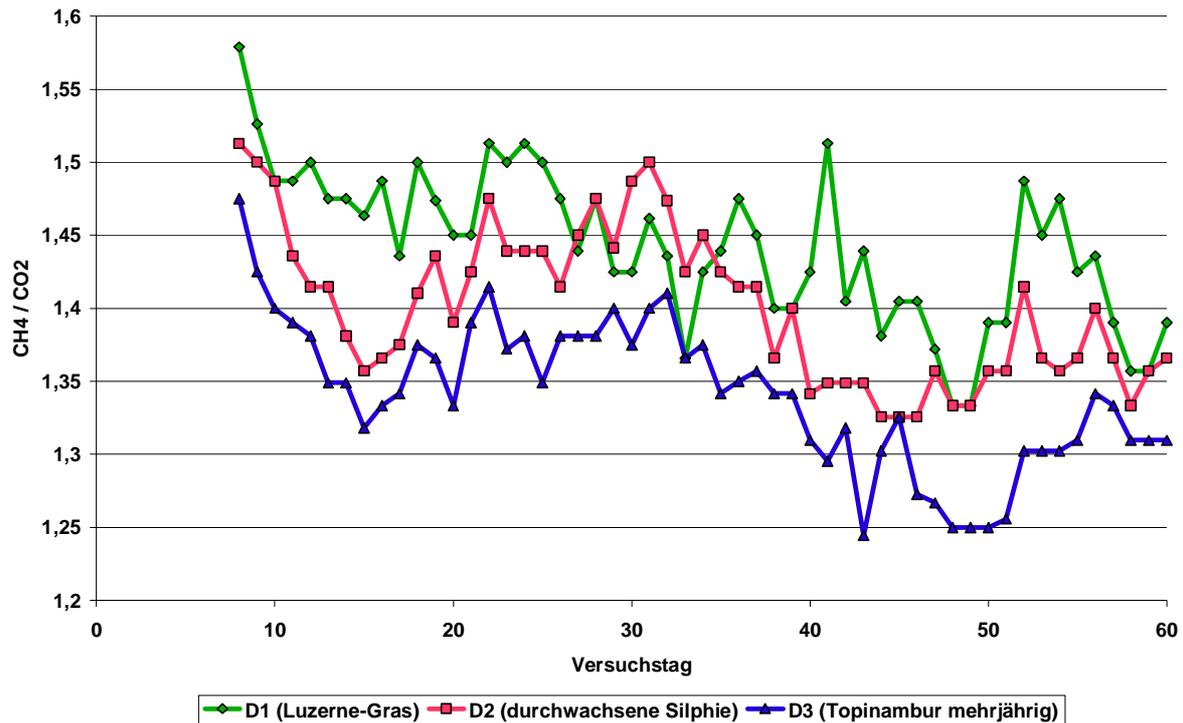


Abbildung 11: CH₄- zu CO₂-Verhältnisse im Verlauf des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

Aus Abbildung 10 geht hervor, dass das Verhältnis von Methan zu Kohlendioxid über die Versuchslaufzeit langsam absinkt, was mit der Auswaschung von Impfschlamm in Verbindung gebracht werden kann. Über den Verlauf des Versuches wird noch keine Konstanz erreicht, wobei andererseits festzustellen ist, dass lediglich ein geringer Abfall messbar ist (Maßstab der y-Achse). Das beste Ergebnis wird beim Abbau von Luzerne erhalten, was eindeutig mit den Inhaltsstoffen in Zusammenhang steht.

Tabelle 23: Tagesdurchschnittswerte von Gasmenge und Gaszusammensetzung des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

	Luzerne Fermenter 1	Durchwachsene Silphie Fermenter 2	Topinambur Fermenter 3
Durchschnittliche Biogasausbeute [l _{norm} /kg _{oTS} zugeführt]	403	323	366
Durchschnittliche Methanausbeute [l _{norm} /kg _{oTS} zugeführt]	236	185	209
Durchschnittlicher Methangehalt [%]	60	59	58
Durchschnittlicher Schwefelwasserstoff-Gehalt [ppm]	672	544	509

Tendenziell wird aus dem Kosubstrat Luzerne eine größere Menge hochwertigeres Biogas gebildet als aus den beiden anderen Materialien. Da über Synergieeffekte beim Abbau von Kosubstraten mit Rindergülle bisher nicht berichtet wurde, ist davon auszugehen, dass der Anteil der Rindergülle an der Gasausbeute in allen Fällen gleich groß ist und die Unterschiede auf

das Kosubstrat zurückzuführen sind. Dabei sollten insbesondere die Unterschiede im durchschnittlichen Methangehalt nicht überbewertet werden, da diese Werte im Fehlerbereich der Messmethode liegen und erst nach Validierung der Analysenmethoden und/oder durch eine höhere Versuchsichte bestätigt werden können. Die Unterschiede im Schwefelwasserstoffgehalt des Biogases zeigen jedoch, dass beim anaeroben Abbau von Luzerne mehr Protein verwertet wird als beim Abbau von Topinambur, was in der Zusammensetzung der Kosubstrate begründet sein könnte. Möglicherweise enthält Topinambur mehr Stärke, welche ein Biogas liefert, das weniger Methan aber auch weniger Schwefelwasserstoff enthalten dürfte.

Der eigentliche Verlauf des anaeroben Abbaus der drei untersuchten Gemische ist nahezu identisch, wie die beiden folgenden Abbildungen des Verlaufs von pH-Wert und FOS/TAC-Wert zeigen (Abb. 12 und 13).

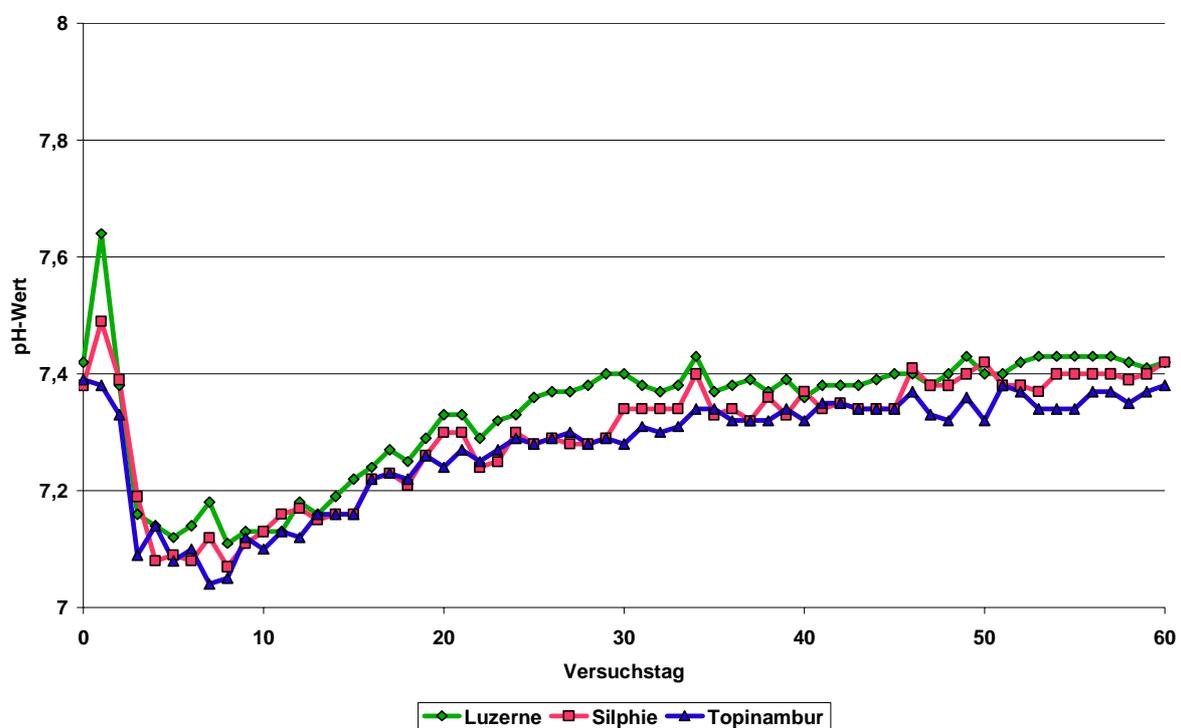


Abbildung 12: pH-Wert des Gärrückstandes im Verlauf des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

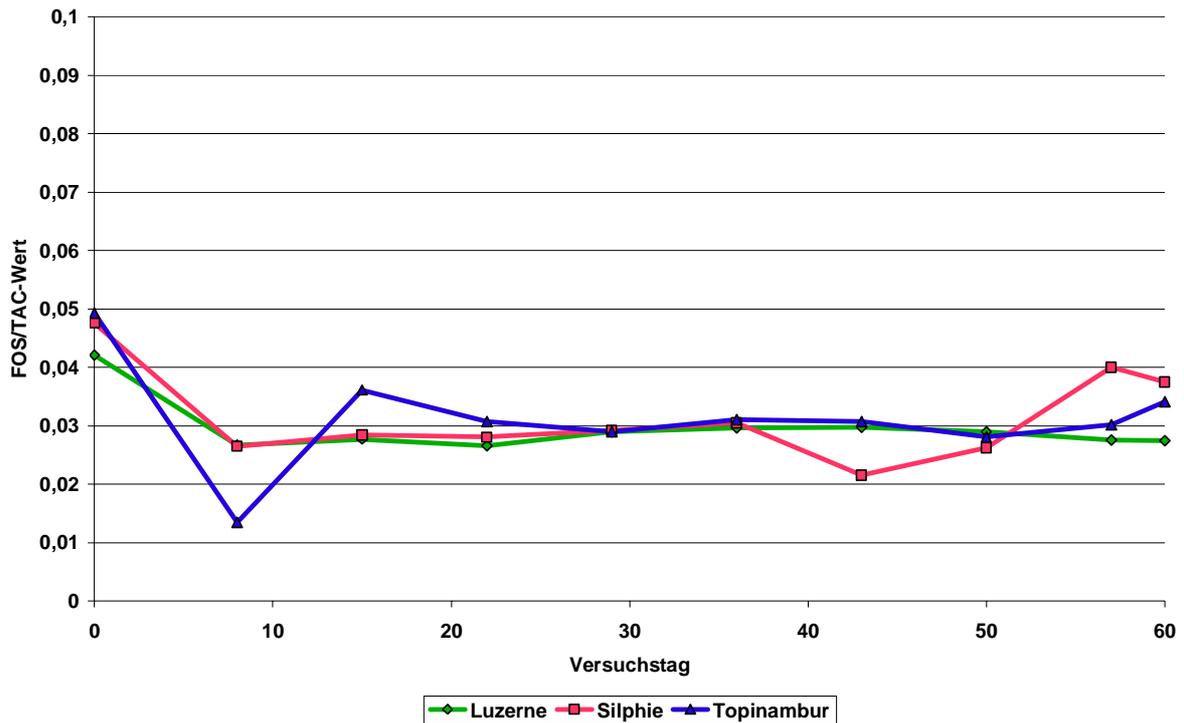


Abbildung 13: FOS/TAC-Wert des Gärückstandes im Verlauf des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

Beide Abbildungen zeigen einen gleichmäßigen Verlauf des Prozesses. Der pH-Wert stabilisiert sich nach etwa 30 Tagen um 7,4 für alle drei Fermentationsprozesse. Der bisher nur selten diskutierte FOS/TAC-Wert, welcher die Basen-(Carbonat-)Reserve des Prozesses anzeigt und unter 0,3 liegen sollte, bewegt sich in einem wesentlich niedrigeren Bereich, so dass die Gefahr einer Übersäuerung der Prozesse zu keinem Zeitpunkt gegeben war.

Ein sehr interessanter Aspekt ist ausgehend von Abbildung 14 zu diskutieren. Offensichtlich reichert sich im Verlauf des Fermentationsprozesses organische Substanz an, da ein immer höherer Anteil an organischer Trockensubstanz im Gärückstand festgestellt wird. Da die Biogasausbeute parallel dazu kaum zunimmt, ist zu vermuten, dass die Verweilzeit nicht lang genug ist, um die abbaufähige Biomasse zu verwerten. Ob mit einem anderen Rührregime eine Verbesserung eintritt oder ob auch nach 60 Tagen der Gleichgewichtszustand der Fermenter noch nicht erreicht ist, kann an dieser Stelle nicht gesagt werden.

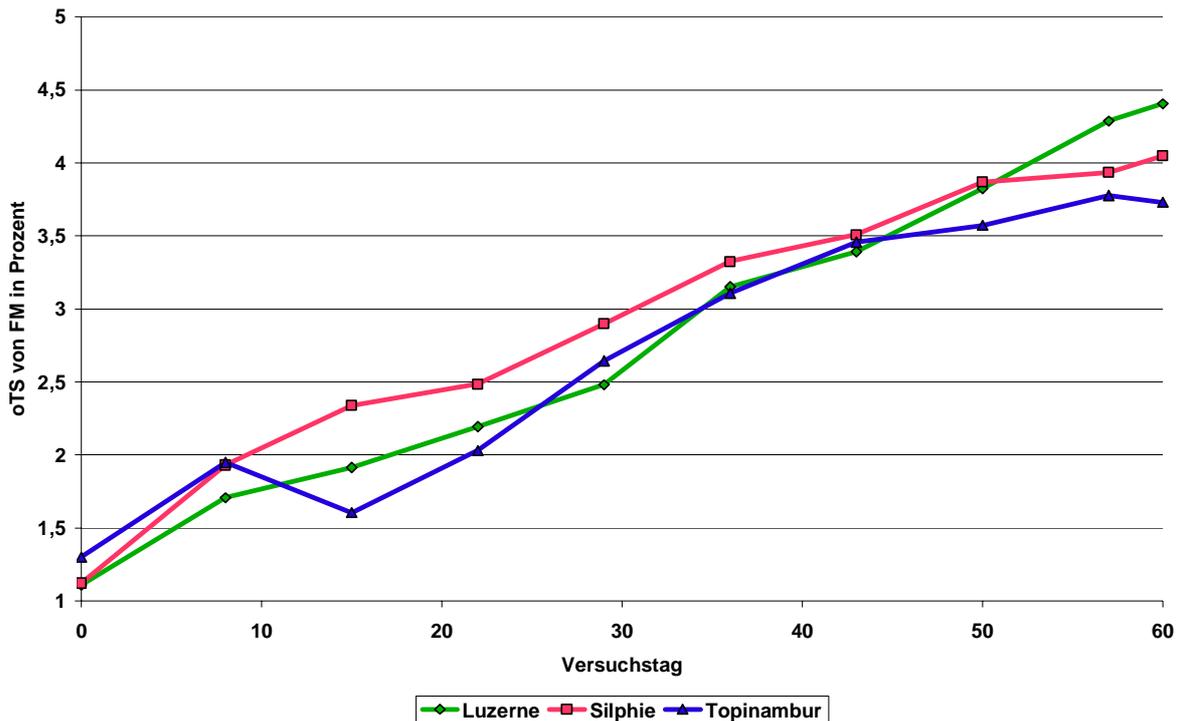


Abbildung 14: oTS-Gehalt des Gärrückstandes im Verlauf des kontinuierlichen anaeroben Abbaus von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur

Fazit

Die Ergebnisse der Versuche zum kontinuierlichen anaeroben Abbau von Rindergülle und den Kosubstraten Luzerne, Durchwachsene Silphie und Topinambur zeigen die prinzipielle Möglichkeit, die genannten Substrate in Biogasanlagen als Kosubstrate einzusetzen.

Die besten Ausbeuten mit dem höchsten Methangehalt wurden bei dem Versuch mit Luzerne gemessen. Allerdings liegen die Unterschiede zwischen den drei Kosubstraten noch nahe der Fehlergrenze der eingesetzten Messmethoden. Eine höhere Datendichte ist hier anzustreben. Offensichtlich ist in allen drei Versuchen auch nach 60 Tagen Versuchsdauer noch kein stabiler Zustand erreicht, was sich durch einen langsamen aber stetigen Anstieg des oTS-Gehaltes des Gärrückstandes bemerkbar macht.

Ob die vorgegebene Verweilzeit ausreichend ist, um zu einem effizienten Abbau der Produkte zu gelangen, kann an Hand der Versuchsergebnisse nicht endgültig geklärt werden.

3.1.2 Versuchsstandort Heßberg

An Standort Heßberg, der eine niedrigere Jahresdurchschnittstemperatur als Dornburg aufweist, wurden, neben den zwei Maissorten Sudangras und Topinambur in mehrjähriger Nutzung sowie Durchwachsene Silphie geprüft. Von einem Anbau verschiedener Zuckerhirsesorten ist wegen deren höheren Temperaturanforderungen abgesehen worden. Statt Luzernegras kam an diesem feuchteren Standort Klee gras zum Anbau.

Aufgrund der standortbedingten Witterungsbedingungen waren bei allen Pflanzenarten, außer bei Topinambur, nur zwei Probeernten möglich.

Generell lagen die Erträge des Jahres 2004 in Heßberg auf deutlich niedrigerem Niveau als in Dornburg. Auffällig waren auch die niedrigen TS-Gehalte, die lediglich beim Silomais und beim Topinambur der dritten Probeernte eine sichere Silierung zugelassen hätten (Tab. 24).

Bei beiden Maissorten stieg die Methanausbeute bei der 2. Probeernte an, wobei sich die Sorten nicht wesentlich unterschieden.

Sudangras als auch Topinambur reichten sowohl in ertraglicher Hinsicht als auch in Bezug auf die Methangehalte nicht an den Mais heran. Beide Pflanzenarten realisierten damit deutlich niedrigere theoretische Methanerträge je Flächeneinheit.

Beim Klee gras sind sehr gute Ergebnisse nach dem Schröpf schnitt in der 1. Probeernte zu erkennen. In der 2. Probeernte sanken diese wieder deutlich ab.

Tabelle 24: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Heßberg 2004

Substrat	Erntetermin 2004	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	11.10.	20,3	569,1	295,9	117,0	3462
Mais PR38F53	04.11.	25,0	589,3	306,4	111,0	3401
Mais Doge	11.10.	16,0	567,0	294,8	112,0	3302
Mais Doge	04.11.	19,4	579,0	301,1	99,0	2981
Sudangras Susu	11.10.	18,6	531,9	281,9	80,0	2255
Sudangras Susu	25.10.	19,7	493,4	261,5	82,0	2144
Topinambur mehrjährig Kraut	20.09.	22,6	548,3	285,1	105,0	2994
Topinambur mehrjährig Kraut	04.10.	22,3	549,2	285,6	79,0	2228
Topinambur mehrjährig Kraut	25.10.	27,6	532,4	276,8	68,0	1882
Klee gras Schröpf schnitt	09.08.	19,9	570,4	308,0	78,0	2402
Klee gras	10.09.	27,8	566,7	306,0	85,0	2601
Klee gras	13.10.	21,9	574,9	298,9	26,0	777

Im zweiten Versuchsjahr lagen die Erträge aller Pflanzenarten generell auf deutlich höherem Niveau, was den Einfluss der Jahreswitterung deutlich widerspiegelt.

Die beiden Maissorten verhielten sich bezüglich ihrer Erträge wieder proportional der errechneten Methangasausbeute. Der Mais „PR38F53“ war dem Mais „Doge“ in beiden Parametern überlegen (Tab. 25).

Das Sudangras erreichte 2005 ähnlich hohe Erträge wie der Silomais und höhere als der Energiemais „Doge“. Die Methanausbeute bei Sudangras war zum Zeitpunkt der 1. Probeernte am höchsten und verlief ebenfalls parallel zum Ertrag.

Im Gegensatz zur VS Dornburg zeigte der Topinambur in der VS Heßberg im 2. Anbaujahr außerordentlich gute Ergebnisse. Er war im Ertrag der Vergleichsfruchtart Mais bei allen Ernteterminen überlegen und übertraf auch im Methanertrag alle anderen Pflanzenarten. Die Methanausbeute verlief proportional zum Ertrag.

Die Durchwachsene Silphie, die 2005 erstmalig beerntet werden konnte, wies ähnlich gute Ergebnisse auf wie am Standort Dornburg und lag im Ertragsniveau teilweise über dem Mais. Obwohl sich die Methanausbeute während der Ernteperiode kaum änderte, war der erste Erntetermin durch den höheren Biomasseertrag hinsichtlich der Methanerträge je Flächeneinheit am besten.

Die kumulierten Werte der drei Probeernten bei Klee gras weisen darauf hin, dass in dieser Region (Vorgebirgslage) eine Ernte zur Nutzung als Kofermentpflanze zu Blühbeginn erfolgen sollte. Die zweite Versuchsbeerntung zu Blühende vom 01. September war auf Grund des TS-Verlaufes nicht mehr verwertbar.

Tabelle 25: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Heßberg 2005

Substrat	Erntetermin 2005	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	06.10.	26,5	546,3	297,4	168,9	5023
Mais PR38F53	17.10.	30,1	577,3	313,2	153,7	4814
Mais Doge	06.10.	18,9	540,6	293,6	133,6	3922
Mais Doge	17.10.	17,7	559,6	302,4	134,4	4064
Sudangras Susu	26.09.	21,8	498,4	268,8	174,3	4685
Sudangras Susu	11.10.	24,1	461,9	248,4	159,7	3967
Sudangras Susu	17.10.	28,3	414,2	223,6	157,7	3526
Topinambur mehrjährig Kraut	15.09.	31,1	537,6	288,8	232,8	6723
Topinambur mehrjährig Kraut	26.09.	31,0	518,5	277,1	187,8	5204
Topinambur mehrjährig Kraut	11.10.	33,5	496,4	265,2	270,5	7174
Durchw. Silphie, 2. J.	15.09.	22,9	600,7	332,8	184,3	6134
Durchw. Silphie, 2. J.	28.09.	25,0	601,6	330,0	139,2	4594
Durchw. Silphie, 2. J.	11.10.	31,5	603,2	332,3	176,0	5845
Klee gras Blühbeginn	02.06	16,2			64,2	
	26.07.	25,6			67,2	
	13.10.	24,6			27,0	
Kumuliert bzw. gemittelt			563,4	316,3	158,4	5010
Klee gras Vollblüte	02.06.	15,7			62,2	
	10.08.	28,3			58,4	
	13.10.	24,1			14,3	
Kumuliert bzw. gemittelt			508,8	287,5	134,9	3878
Klee gras Blühende	02.06.	14,9			57,0	
	01.09.	43,6			52,1	
Kumuliert bzw. gemittelt			Wildschaden		109,1	

Die Ernte- und Methanerträge des dritten Versuchsjahres (Tab. 26) zeigen die gleiche Tendenz auf wie im Vorjahr. Bei den beiden Maissorten sind diese sogar fast identisch. Der Energiemais „Doge“ erreichte auch 2006 nicht die Erträge des Silomais „PR38F53“ und kam trotz des langen warmen Herbstes nicht annähernd an den für eine Silierung erforderlichen TS-Gehalt heran.

Sudangras erreichte zum 3. Erntetermin eine deutliche Ertragssteigerung und übertraf zu diesem Termin den Silomais, allerdings könnte auch bei dieser Kultur der niedrige TS-Gehalt bei der Silierung Probleme verursachen.

Der im 3. Versuchsjahr stehende Topinambur war entgegen aller Theorien und anders als in Dornburg mit teilweise mehr als 200 dt TM/ha noch genauso massewüchsig wie im 2. Jahr. In Heßberg bildeten die Pflanzen auch nicht so viele Stängel aus. Die Stängel waren demzufolge stärker und weniger verholzt. Trotz geringerer Methangehalte übertraf er rein rechnerisch den Mais auch im Methanertrag deutlich.

Noch höhere Biomasse- und Methanerträge realisierte die Durchwachsene Silphie im 2. Ertragsjahr. Der Trockenmasseertrag zur 1. Probeernte von 292 dt TM/ha ist das beste Ergebnis aller geprüften Pflanzenarten an allen Standorten. Aufgrund ähnlich hoher Methangehalte übertraf sie den Silomais hinsichtlich der Methanerträge um etwa 30 %.

Das Klee gras fiel im dritten Standjahr gegenüber 2006 ab. Der Bestand war sehr inhomogen, die Gräser im Gemisch fast vollständig verschwunden.

Tabelle 26: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Heßberg 2006

Substrat	Erntetermin 2006	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	28.09.	25,2	684,5	369,1	168,87	6234
Mais PR38F53	11.10.	27,1	578,7	312,2	153,73	4799
Mais Doge	28.09.	20,5	538,4	291,0	133,58	3888
Mais Doge	11.10.	18,2	651,2	364,3	134,43	4896
Sudangras Susu	18.09.	23,3	509,3	274,7	180,7	4964
Sudangras Susu	26.09.	22,4	471,7	253,9	160,9	4085
Sudangras Susu	11.10.	22,6	448,9	241,7	201,6	4873
Topinambur mehrjährig Kraut	07.09.	28,3	518,4	277,9	226,1	6283
Topinambur mehrjährig Kraut	18.09.	33,7	517,3	276,1	199,6	5511
Topinambur mehrjährig Kraut	27.09.	31,7	503,3	268,7	256,6	6895
Durchw. Silphie	07.09.	23,6	590,3	320,4	292,2	9362
Durchw. Silphie	18.09.	27,2	598,9	323,0	234,7	7581
Durchw. Silphie	27.09.	27,4	599,9	324,7	274,8	8923
Kleegras Blühbeginn	23.06.	28,6			79,5	
	03.08.	23,1			28,2	
	09.10.	25,8			20,1	
Kumuliert bzw. gemittelt		25,8	486,5	272,5	127,8	3483
Kleegras Vollblüte	29.06.	23,4			75,2	
	31.08.	23,8			37,1	
Kumuliert bzw. gemittelt			518,5	289,7	112,3	3253
Kleegras Blühende	29.06.	22,1			71,7	
	14.09.	29,2			38,0	
Kumuliert bzw. gemittelt			510,9	283,4	109,7	3109

In Betrachtung aller drei Versuchsjahre wird deutlich, dass Durchwachsene Silphie, Topinamburkraut und in günstigen Jahren auch das Sudangras am Standort Heßberg mit Silomais konkurrieren können. Auch Kleegras kommt hier durchaus als Kofermentpflanze in Betracht. Wegen der späten Reife und der damit verbundenen niedrigen TS-Gehalte eignet sich der Energiemais „Doge“ nicht für einen Anbau in der Vorgebirgslage (Abb. 15).

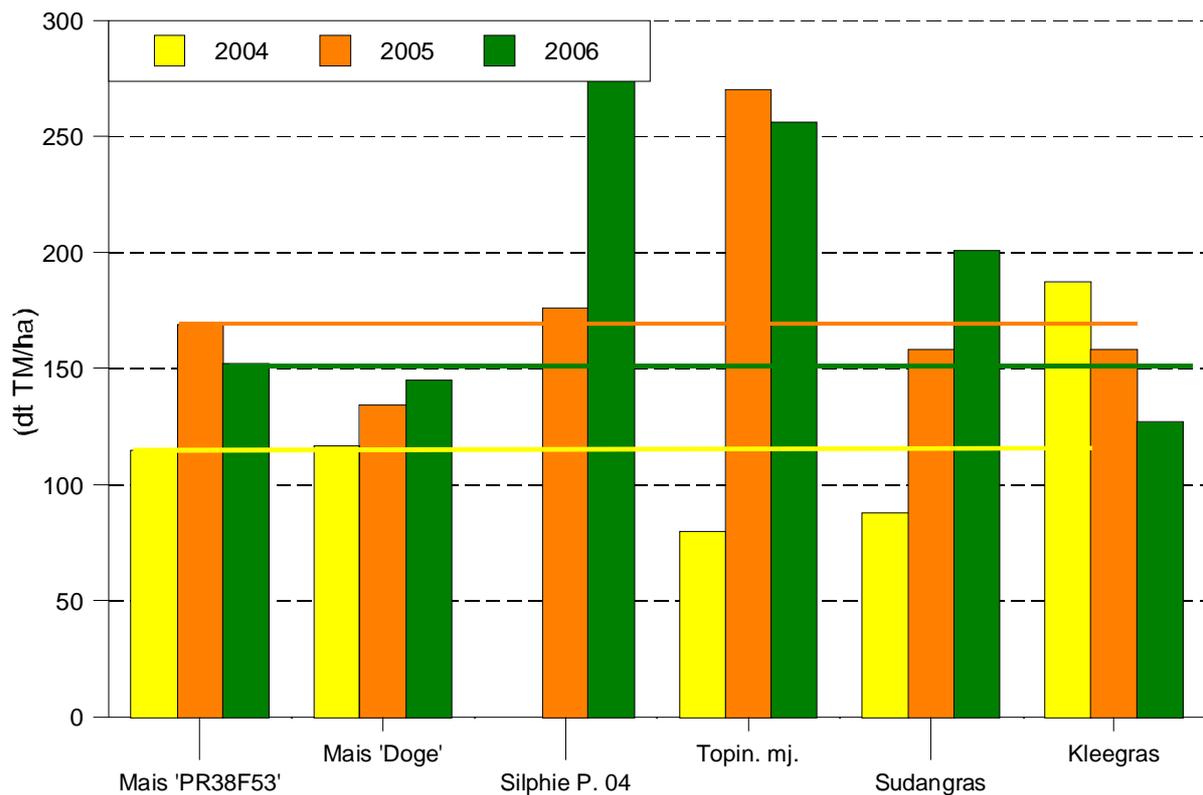


Abbildung 15: Biomasseerträge von Energiepflanzen – Optimum aus 3 Probeernten, VS Heßberg 2004 bis 2006

3.1.3 Versuchsstandort Müllheim

Der Standort Müllheim in der Rheinebene ist durch hohe Temperaturen und hohe Jahresniederschläge bei günstiger Niederschlagsverteilung gekennzeichnet. Er bietet somit optimale Voraussetzungen für ein gutes Pflanzenwachstum und müsste für wärme- und feuchtigkeitsliebende Fruchtarten prädestiniert sein. Deshalb wurden hier, neben den Maissorten, Zuckerhirse, Sudangras, Topinambur und Klee gras geprüft. Die ebenfalls für den Standort vorgesehene Durchwachsene Silphie wuchs nicht an und wurde ab 2006 durch eine zweite Zuckerhirsesorte ersetzt.

Im ersten Versuchsjahr 2004 liefen alle Pflanzenarten gleichmäßig auf und entwickelten sich optimal. Leider wurden durch einen Hagelschlag am 08. Juli alle Pflanzen stark geschädigt, so dass die Erträge insgesamt nicht den Erwartungen entsprachen.

Die Maispflanzen des Energiemaisses „Doge“ erholten sich nicht mehr. Aus diesem Grund wurden nur zwei Probeschnitte durchgeführt. Am Besten überstanden das Sudangras und die Zuckerhirse den Hagelschaden. Dies weist auf ein besseres Regenerationsvermögen der Hirsearten hin, was in Hinblick auf die Klimaänderung und die zu erwartende Zunahme von Starkniederschlagsereignissen von Bedeutung sein könnte.

Die Pflanzen regenerierten sich gut und lieferten noch einen guten Ertrag. Die Haupttriebe des Topinamburs wurden vollständig zerstört. Die Pflanzen schoben später Seitentriebe, allerdings mit sehr geringem Wuchs und verhältnismäßig wenig Blattmasse. Beim Klee gras waren durch die starke Lagerbildung des Bestandes Folgeschnitte nicht mehr möglich.

Auf Grund des Unwetterschadens sind die ermittelten Ergebnisse als nicht repräsentativ anzusehen. Die errechneten theoretischen Biogas- und Methanausbeuten und die ermittelten Ertrags- und Methanerträge sind dennoch tabellarisch (Tab. 27) aufgelistet. Hervorzuheben sind allerdings die Widerstandsfähigkeit und die sehr gute Massewüchsigkeit von Sudangras und dem Silomais „PR38F53“ nach dem Unwetterschaden.

Tabelle 27: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Müllheim 2004

Substrat	Erntetermin 2004	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	12.08.	20,6	570,0	296,4	94,0	2786
Mais PR38F53	08.09.	28,9	588,0	305,8	164,0	5015
Mais Doge	12.08.	20,6	572,0	297,4	94,0	2796
Mais Doge	08.09.	28,9	573,0	298,0	102,0	3040
Sudangras Susu	12.08.	15,7	531,0	276,1	64,0	1767
Sudangras Susu	08.09.	21,7	499,0	254,5	225,0	5726
Sudangras Susu	21.10.	30,5	479,0	244,3	126,0	3078
Sudangras Susu	08.11.	28,0	478,0	243,8	158,0	3852
Zuckerhirse Friggo	12.08.	15,4	533,0	277,2	72,0	1996
Zuckerhirse Friggo	08.09.	20,9	475,0	251,8	133,0	3349
Zuckerhirse Friggo	12.08.	26,8	474,0	246,5	81,0	1997
Zuckerhirse Friggo	08.11.	25,1	566,0	294,3	68,0	2001
Topinambur mehrjährig Kraut	21.08.	30,4	558,0	284,6	22,0	626
Topinambur mehrjährig Kraut	08.11.	28,9	532,0	271,3	12,0	326
Kleegrass Schröpfschnitt	12.08.	19,2	572,0	303,2	27,0	822
Kleegrass	08.09.	20,0	570,0	302,1	49,0	1480
Kleegrass	21.10.	32,6	571,0	302,6	25,0	756
Kleegrass	08.11.	25,0	569,0	301,6	26,0	784
Kumuliert bzw. gemittelt			570,5	302,4	127,0	3840

Im zweiten Versuchsjahr 2005 bestätigte sich Müllheim als hervorragender Maisstandort. Nicht nur der Mais „Doge“ wies überragende Methanerträge auf, auch der Mais „PR38F53“ übertraf alle anderen geprüften Pflanzenarten (Tab. 28).

Beim Sudangras verlief der Ertragszuwachs nur zögerlich. Proportional dazu verlief auch die Methanausbeute, die allerdings nicht befriedigen konnte.

Die Zuckerhirse „Friggo“ zeigte, wie an allen Standorten, keine verwertbaren Ernte- und Methanerträge und wird deshalb im Jahr 2006 in den Prüfungen durch die ertragsstärkeren Sorten „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ ersetzt.

Nicht nachvollziehbar ist das langsame Wachstum des Topinamburs, das nur eine Probeernte ermöglichte. Dies spiegelt sich auch im Methanertrag wider.

Kleegrass hatte durch den Hagelschlag im Jahr 2004 so stark gelitten, so dass auch im Berichtsjahr 2005 keine adäquaten Erträge erreicht worden sind.

Tabelle 28: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Müllheim 2005

Substrat	Erntetermin 2005	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	13.10.	38,9	574,5	306,9	196,6	6034
Mais PR38F53	24.10.	49,6	561,5	300,3	195	5856
Mais Doge	13.10.	27,8	590,5	317,4	251,5	7983
Mais Doge	24.10.	36,7	576,9	310,1	266,5	8264
Sudangras Susu	11.08.	20,3	511,6	274,0	107,9	2956
Sudangras Susu	25.08.	23,1	473,3	252,7	123,4	3118
Sudangras Susu	27.09.	27,0	452,5	241,7	154,0	3722
Zuckerhirse Friggo	11.08.	24,8	512,0	276,1	79,8	2203
Zuckerhirse Friggo	25.08.	25,3	472,2	253,5	69,1	1752
Zuckerhirse Friggo	27.09.	23,8	451,6	241,3	79,5	1918
Topinambur mehrjährig Kraut	16.11.	52,4	520,9	278,2	76,2	2120
Kleegras	21.06.	35,5	557,9	300,1	55,4	1663
Kleegras	30.06.	23,1	484,0	261,5	52,2	1365
Kleegras 1. Folgeschnitt	20.08.	27,4	565,0	307,5	22,7	698
Kleegras 2. Folgeschnitt	27.09.	31,4	543,6	292,7	22,0	644

Im Versuchsjahr 2006 wiesen am Standort Müllheim nicht nur die beiden Maissorten mit um die 200 dt TM/ha sehr gute Erträge auf, sondern auch erstmalig das Sudangras und die Zuckerhirsens „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“, die ebenfalls Erträge um 180 dt TM/ha realisierten. Während das Sudangras zum 1. Schnitttermin seinen höchsten Ertrag hatte, blieb der Ertrag der Zuckerhirsens über alle drei Erntetermine annähernd gleich. Auch der TS-Gehalt änderte sich nur wenig und war eigentlich auch zum letzten Erntetermin für eine sichere Silierung noch etwas zu gering.

Der im 3. Jahr stehende Topinambur hatte ebenso schlechte Erträge wie in den Vorjahren. Auch die Knollenerträge würden eine Beerntung zum Einsatz als Koferment nicht rechtfertigen.

Kleegras verhielt sich in seiner Ertragsentwicklung ähnlich wie am Versuchsstandort Heßberg, auch hier war ein Rückgang des Grasanteils festzustellen. Die Gesamterträge erreichten nur etwa 40 % der Maiserträge und stellen somit die Eignung als Koferment in dieser Region in Frage. Die Ergebnisse des letzten Versuchsjahres 2006 beinhaltet Tabelle 29.

Tabelle 29: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Müllheim 2006

Substrat	Erntetermin 2006	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	14.09.	36,2	544,0	296,0	212,0	6275
Mais PR38F53	27.09.	38,5	584,0	317,0	205,0	6499
Mais PR38F53	19.10.	48,4	566,0	307,0	207,0	6355
Mais Doge	14.09.	27,3	571,7	311,7	190,0	5909
Mais Doge	27.09.	29,8	582,0	316,5	223,0	7058
Mais Doge	19.10.	35,7	567,0	308,2	196,7	6063
Sudangras Susu	14.09.	28,0	536,0	290,0	179,0	5191
Sudangras Susu	17.10.	26,2	576,0	276,0	142,0	3919
Sudangras Susu	30.10.	25,5	451,0	243,0	112,0	2721
Zuckerhirse Super Sile 20	14.09.	25,5	534,0	289,0	178,0	5144
Zuckerhirse Super Sile 20	17.10.	24,2	510,0	275,0	161,0	4428
Zuckerhirse Super Sile 20	30.10.	24,7	550,0	242,0	185,0	4477
Zuckerhirse Super Sile 18	14.09.	24,8	538,0	291,0	186,0	5413
Zuckerhirse Super Sile 18	17.10.	24,9	513,0	277,0	187,0	5180
Zuckerhirse Super Sile 18	30.10.	24,2	450,0	243,0	180,0	4374
Topinambur mehrjährig Kraut	14.09.	35,6	528,0	285,0	83,0	2366
Topinambur mehrjährig Kraut	27.09.	31,3	Probe verworfen		65,0	-
Topinambur mehrjährig Kraut	17.10.	33,6	494,0	266,0	73,0	1942
Topinambur mehrjährig Knolle	14.09.	18,4	642,0	347,0	32,0	1110
Topinambur mehrjährig Knolle	27.09.	18,3	651,0	349,0	30,0	1047
Topinambur mehrjährig Knolle	17.10.	18,0	652,0	250,0	25,0	625
Kleegras Blühbeginn	08.06.	27,8	534,0	290,0	62,0	1798
	17.10.	24,7	535,0	297,0	17,0	505
Kumuliert bzw. gemittelt		26,3	534,5	293,5	79,0	2303
Kleegras Vollblüte	14.06.	31,6	520,0	284,0	70,0	1988
	17.10.	22,8	520,0	286,0	13,0	372
Kumuliert bzw. gemittelt		27,2	520,0	285,0	83,0	2360
Kleegras Blühende	30.06.	34,5	516,0	277,0	59,0	1634
	17.10.	20,4	511,0	282,0	10,0	282
Kumuliert bzw. gemittelt		27,5	513,5	279,5	69,0	1916

Insgesamt bestätigte sich der Standort Müllheim in der Rheinebene als sehr guter Maisstandort. Durch die lange Vegetationszeit erreichte der Energiemais „Doge“ sogar die Körnerreife. Pflanzenarten wie Sudangras oder die Zuckerhirsen „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ wiesen neben dem Mais auch sehr gute Erträge auf, allerdings waren hier sehr starke Jahresunterschiede zu verzeichnen, die vor einer abschließenden Wertung bezüglich der Eignung als Koferment näher beleuchtet werden müssten.

Kleegras und Topinambur scheinen für diesen Standort nicht geeignet (Abb. 16).

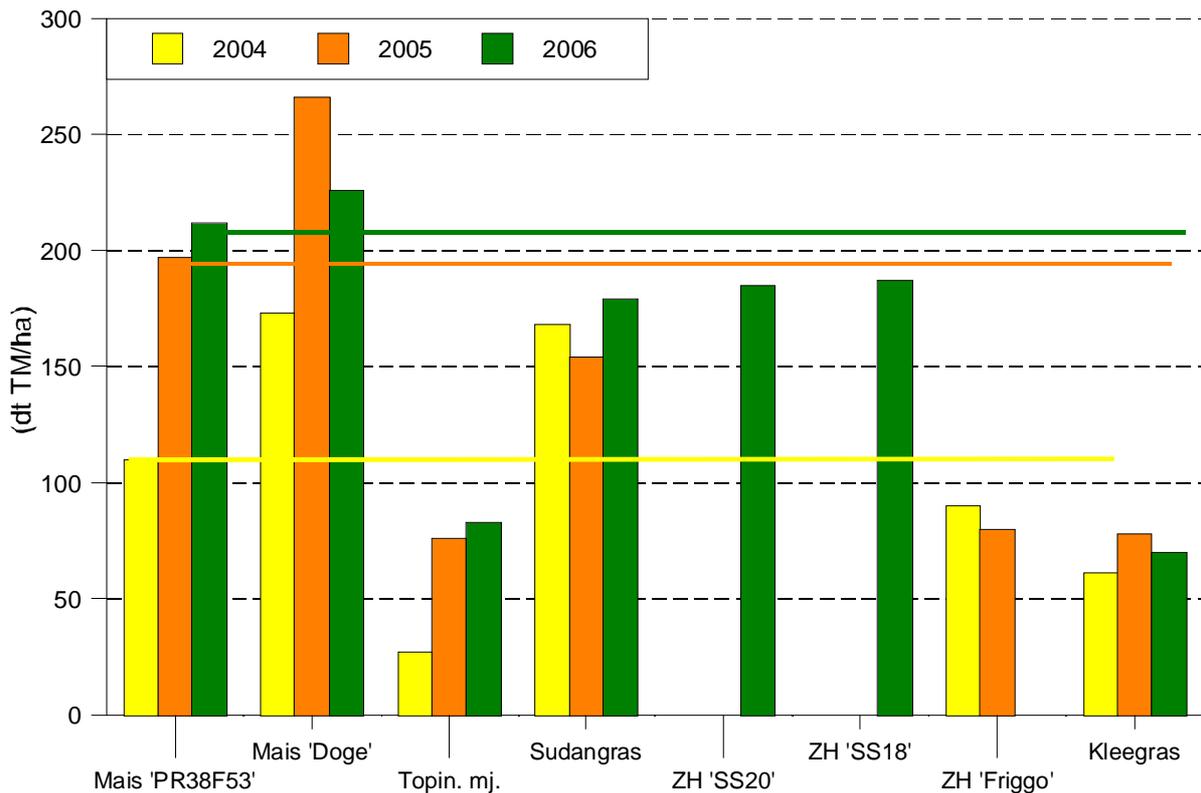


Abbildung 16: Biomasseerträge von Energiepflanzen – Optimum aus 3 Probeernten, VS Müllheim 2004 bis 2006

3.1.4 Versuchsstandort Burkersdorf

Der Standort Burkersdorf in Vorgebirgslage, gekennzeichnet durch niedrige Jahresdurchschnittstemperaturen, geringe Niederschläge und flachgründigen Boden, ist als Extremstandort im Jahr 2005 neu ins Versuchsprogramm aufgenommen worden.

Erwartungsgemäß lagen die Erträge aller Pflanzenarten, außer dem Mais „Doge“, am Standort Burkersdorf im Jahr 2005 unter dem Niveau der anderen drei Standorte. Allerdings erreichte der Energiemais hier die Siloreife nicht.

Bei fast allen Pflanzenarten unterschieden sich die Methangehalte zu den einzelnen Ernteterminen relativ wenig, so dass der Methanertrag pro Hektar nahezu proportional dem Biomasseertrag verlief. In der Regel wurden die höchsten Biomasse- und Methanerträge in Burkersdorf bei der 3. Probeernte erreicht (Tab. 30). Dies trifft auch auf die Addition der Kraut- und Knollenerträge des einjährig angebauten Topinamburs zu, wobei die eingangs erwähnten Probleme bei der Verwendung der Knollen in der Biogasanlage zu beachten sind. Eine Krautnutzung allein wäre in 2005 in Burkersdorf aufgrund der niedrigen Erträge nicht sinnvoll gewesen.

Das im Frühjahr 2005 angesäte Luzernegras lief aufgrund der ausgeprägten Vorsommertrockenheit, verbunden mit extrem niedrigen Temperaturen in dieser Zeitspanne, sehr schlecht und zögerlich auf, so dass keine Ertragsermittlung möglich war. Nach einem Schröpfungsschnitt wurde vom Wiederaufwuchs lediglich eine Probe zur Inhaltsstoffuntersuchung entnommen. Die ertragsschwache Zuckerhirse „Friggo“ wurde im zweiten Versuchsjahr durch die Sorten „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ ersetzt.

Tabelle 30: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Burkertsdorf 2005

Substrat	Erntetermin 2005	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (m ³ /ha)
Mais PR38F53	09.09.	18,8	538,0	293,5	80,1	2351
Mais PR38F53	04.10.	21,8	566,4	306,6	104,	3188
Mais PR38F53	18.10.	28,2	557,2	302,5	127,6	3860
Mais Doge	09.09.	17,6	506,0	276,3	96,3	2661
Mais Doge	04.10.	16,0	570,7	307,4	118,6	3646
Mais Doge	18.10.	21,2	547,3	296,8	165,5	4912
Sudangras Susu	08.09.	21,6	503,7	275,2	46,7	1285
Sudangras Susu	04.10.	25,6	469,6	254,0	77,0	1955
Sudangras Susu	18.10.	29,5	441,0	238,5	96,4	2299
Zuckerhirse Super Sile 20	08.09.	19,1	503,1	276,3	50,1	1384
Zuckerhirse Super Sile 20	04.10.	20,8	468,4	254,5	84,8	2158
Zuckerhirse Super Sile 20	18.10.	25,5	444,1	240,5	105,5	2537
Zuckerhirse Friggo	08.09.	25,7	497,5	273,2	39,4	1076
Zuckerhirse Friggo	04.10.	23,8	466,6	255,7	47,5	1215
Zuckerhirse Friggo	18.10.	27,4	443,0	241,9	66,9	1618
Topinambur einjährig Kraut	09.09.	27,6	518,9	286,6	86,0	2465
Topinambur einjährig Kraut	04.10.	28,3	528,0	289,2	97,6	2823
Topinambur einjährig Kraut	18.10.	31,3	518,7	281,4	83,4	2347
Topinambur einjährig Knolle	19.10.	21,2	641,9	346,5	25,3	877
Topinambur einjährig Knolle	19.10.	22,3	650,6	349,4	57,6	2012
Topinambur einjährig Knolle	19.10.	25,1	649,1	348,7	76,6	2671
Luzernegras Schröpfungsschnitt	10.08.	stark verunkrautet				
Luzernegras 1. Schnitt	18.10.	27,8	510,6	295,9	-	-

Die Versuchsergebnisse in 2006 spiegeln die des Vorjahres fast wider (Tab. 31). Ausnahmen bilden Sudangras und die beiden Zuckerhirsen, die sich auf etwa dem Niveau des Energiemaies „Doge“ bewegten.

Die Erträge sind aber, verglichen mit denen der anderen Versuchsstationen, generell gering, was den Standortgegebenheiten dieses Vorgebirgsstandortes geschuldet ist. Problematisch war wiederum bei den wärmeliebenden Sorghumhirsen und auch dem Energiemaies der geringe TS-Gehalt selbst bei den letzten Probeernten (Tab. 31).

Das 2005 etablierte Luzernegras erreichte im 2. Standjahr deutlich bessere Erträge und reichte im Methanertrag nahezu an die Hirsearten heran.

Tabelle 31: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Abhängigkeit vom Erntetermin, VS Burkersdorf 2006

Substrat	Erntetermin 2006	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)
Mais PR38F53	14.09.	21,6	542,9	295,4	88,7	2620
Mais PR38F53	09.10.	31,1	578,0	313,1	115,3	3610
Mais PR38F53	24.10.	22,5	564,4	304,4	103,0	3135
Mais Doge	14.09.	22,4	535,2	291,6	106,9	3117
Mais Doge	09.10.	22,8	567,5	306,4	133,9	4103
Mais Doge	24.10.	24,0	546,5	295,3	121,0	3573
Sudangras Susu	14.09.	17,7	508,6	275,3	69,9	1924
Sudangras Susu	09.10.	23,6	470,1	254,8	94,5	2408
Sudangras Susu	24.10.	28,8	443,2	239,4	113,7	2722
Zuckerhirse Super Sile 20	14.09.	19,0	505,8	274,9	95,7	3631
Zuckerhirse Super Sile 20	09.10.	23,6	469,2	254,5	130,6	3324
Zuckerhirse Super Sile 20	24.10.	23,8	445,5	240,9	134,1	3230
Zuckerhirse Super Sile 18	14.09.	21,4	504,6	275,1	103,3	2842
Zuckerhirse Super Sile 18	09.10.	26,0	470,0	254,9	129,4	3298
Zuckerhirse Super Sile 18	24.20.	26,4	446,3	240,8	136,6	3289
Topinambur einjährig Kraut	14.09.	34,8	521,8	284,4	109,7	3120
Topinambur einjährig Kraut	09.10.	29,1	520,0	284,2	87,5	2487
Topinambur einjährig Kraut	24.10.	35,7	500,5	271,2	77,5	2102
Topinambur einjährig Knolle	14.09.	22,4	834,4	447,6	29,0	1298
Topinambur einjährig Knolle	09.10.	22,4	808,7	431,6	65,1	2810
Topinambur einjährig Knolle	24.10.	25,2	789,4	422,3	79,5	3357
Luzernegras Blühbeginn	07.06.	20,9	510,9	285,1	55,7	1588
	10.07.	26,3	507,3	288,0	25,8	743
	11.08.	20,1	503,9	298,9	5,0	149
	25.10.	23,8	508,7	294,8	7,4	218
Kumuliert bzw. gemittelt			507,7	291,7	93,9	2698
Luzernegras Vollblüte	07.06.	20,6	487,3	273,1	55,6	1518
	17.07.	31,4	486,2	275,3	31,9	878
	22.09.	30,4	467,1	273,1	21,6	590
Kumuliert bzw. gemittelt			480,2	273,8	109,1	2986
Luzernegras Blühende	07.06.	20,1	476,6	267,1	54,8	1464
	21.07.	32,3	477,7	270,1	33,1	894
	09.10.	29,2	472,9	276,0	22,1	610
Kumuliert bzw. gemittelt			475,7	271,1	110,0	2968

Bei den dargestellten Optimumerträgen über beide Versuchsjahre (Abb. 17) ist deutlich zu sehen, dass die beiden Maissorten im zweiten Versuchsjahr niedrigere Erträge aufwiesen. Die massewüchsigeren Sorten „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ konnten in ertraglicher Hinsicht mit dem Mais konkurrieren. Auch das Luzernegras im zweiten Standjahr reichte fast an die Maiserträge heran.

Generell könnten für den kalten, trockenen Standort Burkersdorf ausgewählte Hirsensorten und Luzernegras neben Mais als Kofermentpflanzen für die Biogasanlage in Betracht kommen.

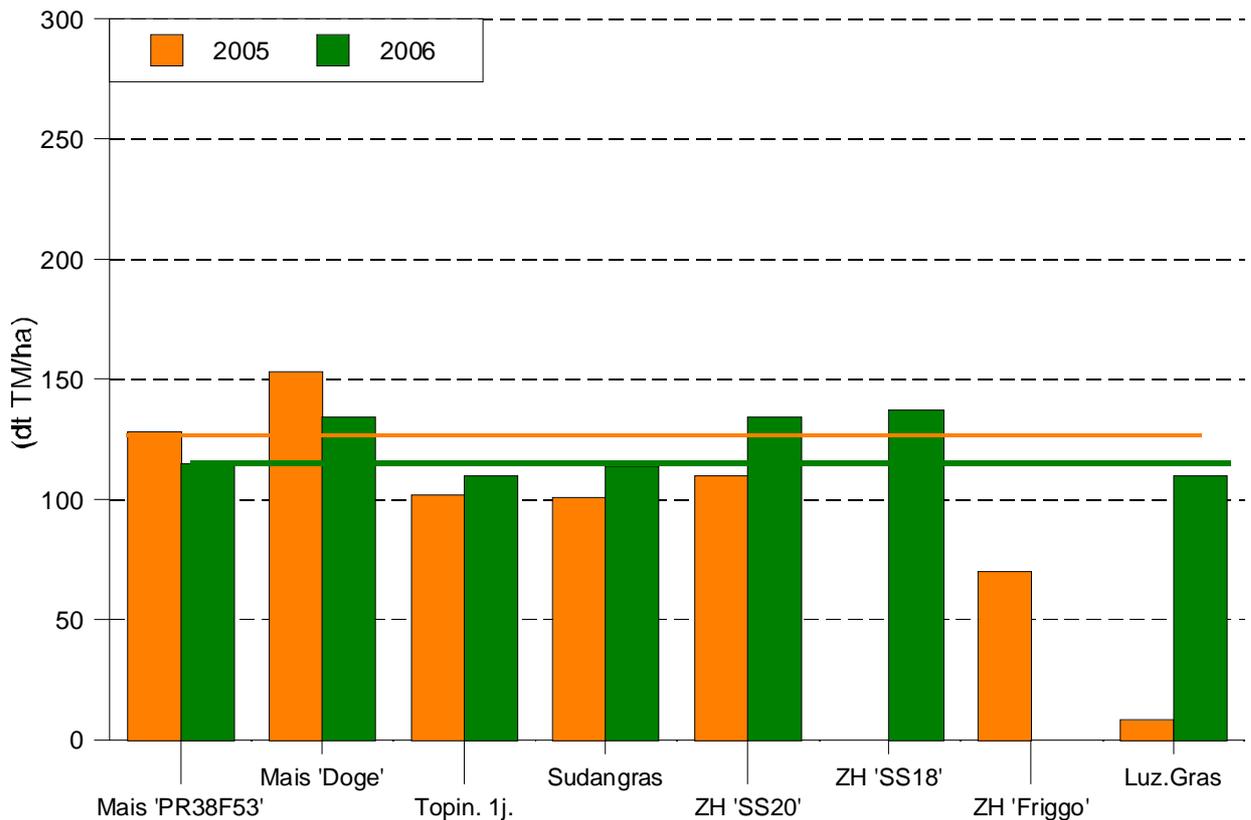


Abbildung 17: Biomasseerträge von Energiepflanzen – Optimum aus 3 Probeernten, VS Burkersdorf 2005 und 2006

3.1.5 Standorteignung der Energiepflanzen

Wie die o. g. Ergebnisse verdeutlichen, wird der Ertrag der einzelnen Pflanzenarten in starkem Maße von den Gegebenheiten des jeweiligen Standortes bestimmt. Da die Versuchsstandorte generell über ein sehr unterschiedliches Ertragspotenzial verfügen, beziehen sich die nachfolgenden Betrachtungen zur Anbaueignung der Kulturen auf die Relativerträge im Vergleich zum Silomais „PR38F53“, der als Standard dient.

Wie aus Abbildung 18 hervorgeht, erreichte der Energiemais „Doge“, außer in Heßberg, an allen Standorten in allen Jahren höhere Erträge als der Silomais, wobei, wie bereits bei den einzelnen Standorten erwähnt, der z. T. niedrige TS-Gehalt zur Ernte kritisch zu betrachten ist. Dagegen erwies sich Heßberg als „Topinamburstandort“. Lediglich hier übertraf diese Fruchtart den Standard in 2 Versuchsjahren. An allen anderen Standorten lag der Ertrag deutlich unter der Vergleichsart.

Die geringste Streubreite wiesen die Erträge am Standort Dornburg auf. Außer Topinambur in mehrjähriger Nutzung und Sudangras im Jahr 2006 lagen die Erträge der restlichen Pflanzen im Bereich des Silomaises.

Gleichzeitig verdeutlicht die Grafik aber auch den starken Einfluss der Jahreswitterung auf die Biomassebildung der einzelnen Kulturen. Während die massewüchsige Zuckerhirse „Super Sile 20“ in Dornburg in allen Jahren höhere Erträge als der Standard erzielte, konnte sie in Burkersdorf nur im Jahr 2006 den Silomais übertreffen.

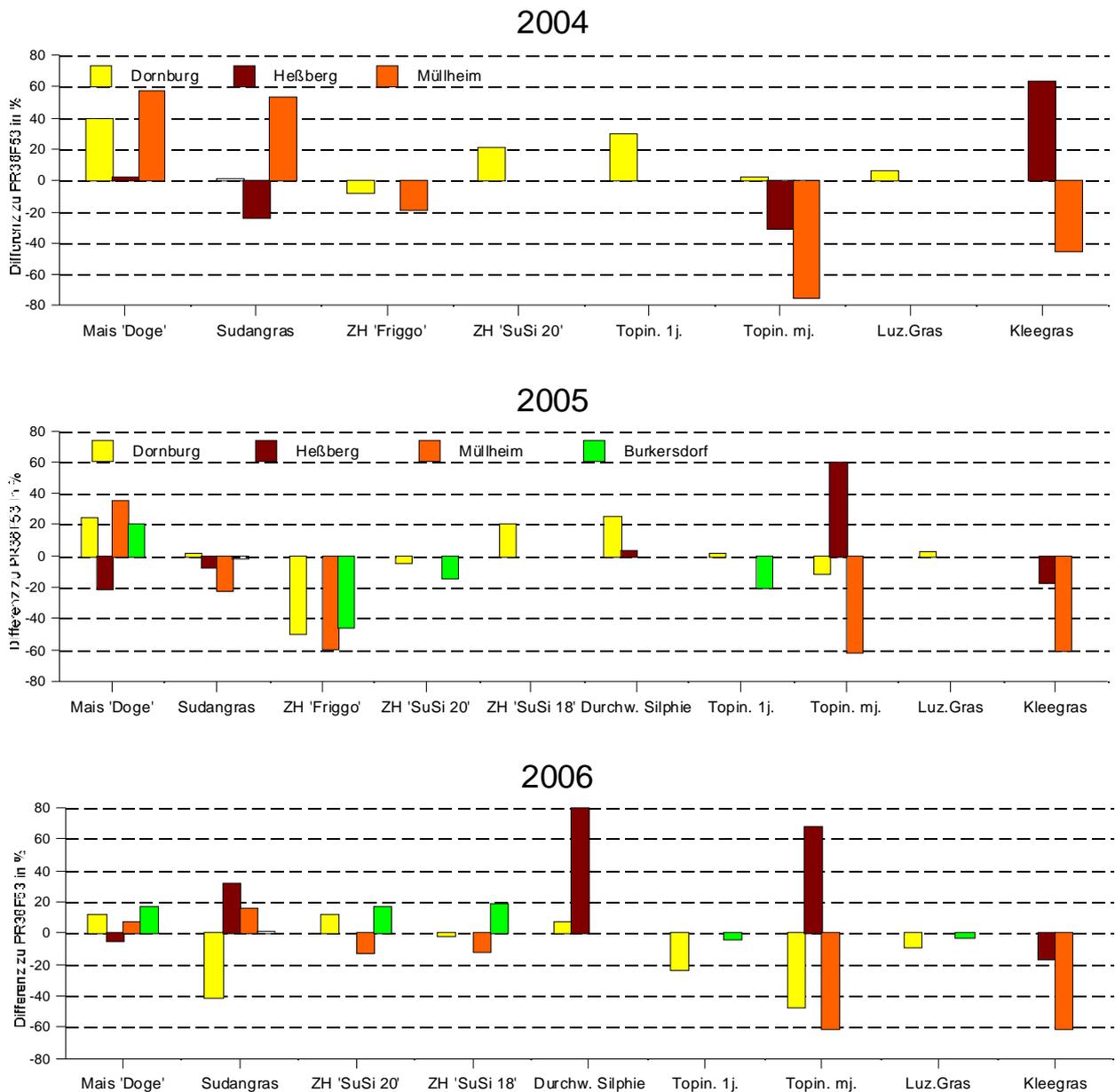


Abbildung 18: Differenzerträge (relativ) von Biomassepflanzen im Vergleich zum Silomais PR38F53, VS Dornburg, Heßberg, Müllheim und Burkersdorf 2004 bis 2006

Insgesamt ist einzuschätzen, dass die massewüchsigen Zuckerhirsesorten, wie z. B. „Super Sile 20“, auch auf kühleren Vorgebirgsstandorten (Burkersdorf) mit Silomais konkurrieren können. Gerade im Bereich der Zuckerhirse laufen gegenwärtig große Anstrengungen seitens der Pflanzenzüchtung, das Spektrum anbauwürdiger Sorten zu erhöhen. Dabei werden zunehmend, ähnlich wie beim Mais, auch Sorten unterschiedlicher Reifezeit angeboten, mit denen der Landwirt auf standortspezifische Vegetationszeiten reagieren kann.

Auch Klee- und Luzerngras sind durchaus anbauwürdig. Problematisch ist hier jedoch die mehrschnittige Nutzung, die kostenseitig negativ zu Buche schlägt.

Überragende Ergebnisse auf den zwei Prüfstandorten Dornburg und Heßberg lieferte die Durchwachsene Silphie, die durchaus das Potenzial zu einer echten Biogaspflanze hat (Abb. 19 und Abb. 20).

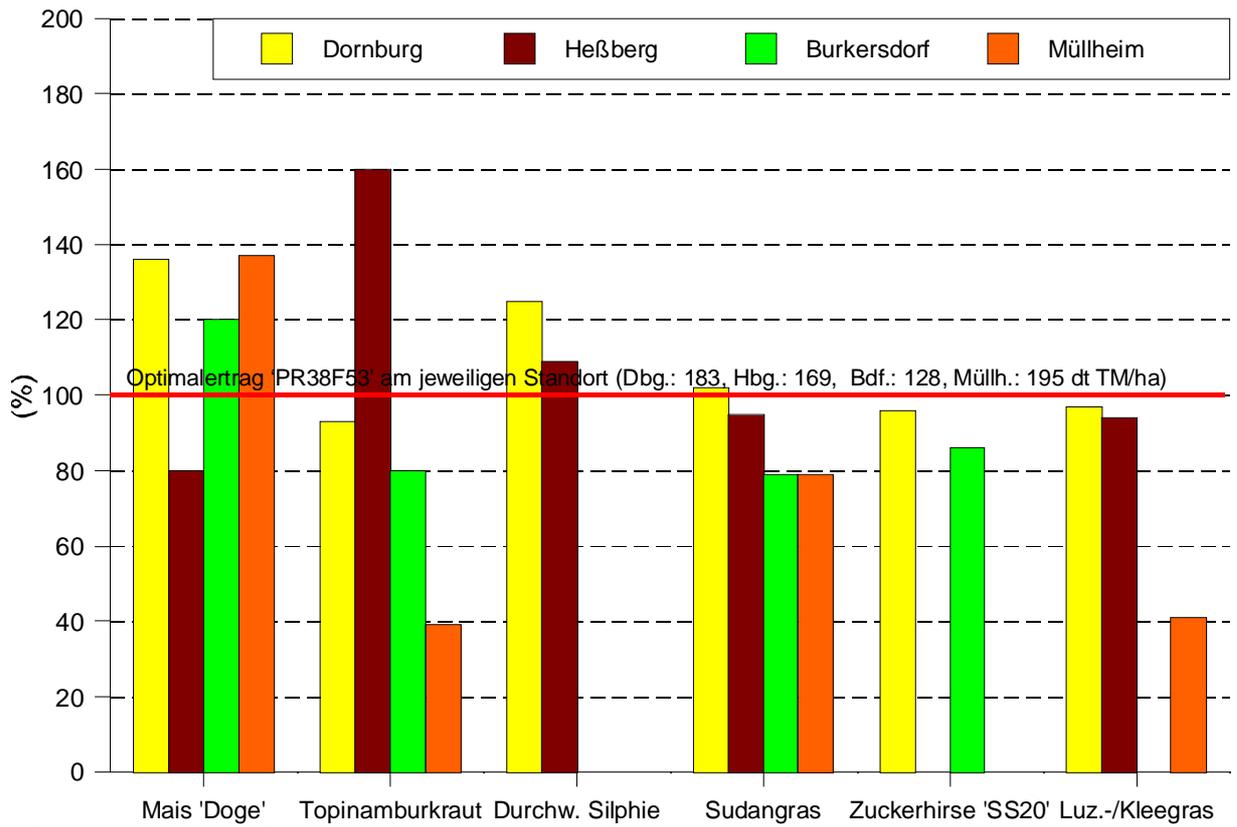


Abbildung 19: Optimalerträge (rel.) von Biomassepflanzen im Vergleich zum Silomais „PR38F53“, VS Dornburg, Heßberg, Burkersdorf und Müllheim 2005

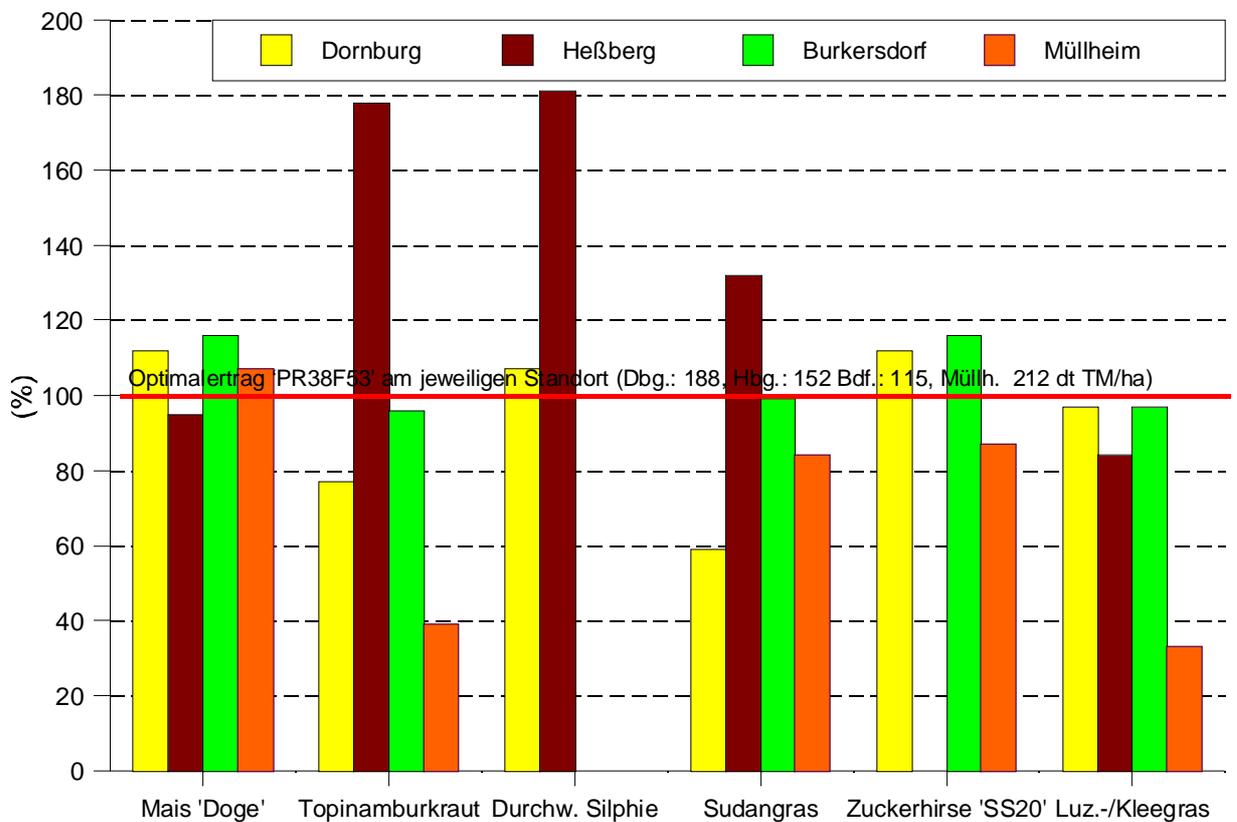


Abbildung 20: Optimalerträge (rel.) von Biomassepflanzen im Vergleich zum Silomais „PR38F53“, VS Dornburg, Heßberg, Burkersdorf und Müllheim 2006

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei der Wahl der entsprechenden Biogaspflanze den Standortgegebenheiten entscheidende Bedeutung zukommt.

3.2 Versuche zur Zweikulturnutzung

Im Zweitfruchtversuch wurden Mais und Sudangras jeweils in Hauptfruchtstellung sowie als Zweitfrucht nach verschiedenen Winterzwischenfrüchten an drei Standorten geprüft. Dabei kamen als Winterzwischenfrüchte Futterroggen und Landsberger Gemenge zum Anbau. Lediglich in Heßberg 2005 erfolgte die Prüfung der Zweitfrüchte nur nach Winterfutterroggen.

Bei Betrachtung der Ergebnisse des ersten Versuchsjahres 2005 ist zu beachten, dass die im Versuch verwendeten Maissorten „Maibi“ (Hauptfrucht) und „Constantino“ (Zweitfrucht) in den jeweiligen Landessortenversuchen an den Standorten Heßberg und Kirchengel deutlich höhere Erträge aufwiesen als im hier vorgestellten Versuch.

3.2.1 Versuchsstandort Dornburg

Im ersten Versuchsjahr erwies sich der Mais am Standort Dornburg sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung dem Sudangras überlegen. Beide Fruchtarten zeigten in Hauptfruchtstellung bessere Ertragsergebnisse als in Zweitfruchtstellung. Erst die Kumulierung von Winterzwischenfrucht und Zweitfrucht brachte deutlich bessere Methanausbeuten als die reine Hauptfrucht.

Während Mais nach beiden Winterzwischenfrüchten, Winterfutterroggen (WFR) und Landsberger Gemenge (LG) in etwa die gleichen Erträge erreichte, reagierte das Sudangras negativ auf die letztgenannte Zwischenfrucht (Tab. 32).

Tabelle 32: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Dornburg 2005

Substrat	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
Landsberger Gemenge	16,6	560,65	307,12	79,3	24354,4	
Winterfutterroggen	16,5	609,84	340,69	62,6	21327,4	
Mais Hauptfrucht	30,9	562,78	305,98	165,1	50517,0	
Mais auf LG	28,8	566,63	308,80	146,2	45146,0	69500,4
Mais auf WFR	28,6	565,85	307,08	148,8	45693,4	67020,7
Sudangras Hauptfrucht	23,6	444,93	240,65	139,4	33546,9	
Sudangras auf LG	23,0	302,02	167,91	107,6	18067,1	42421,4
Sudangras auf WFR	22,9	439,50	237,37	121,0	28722,3	50049,7

Die Silierung wirkte sich positiv auf das Gesamtergebnis, also Winterzwischenfrucht und Hauptfrucht, aus (Tab. 33). Durch die Silierung wurden die theoretischen Methanerträge noch gesteigert bzw. blieben nahezu konstant. Eine Steigerung des Methangehaltes kann durch den Einsatz von Silierhilfsmitteln bedingt sein, der eine Aufspaltung der Rohfaser und eine bessere Nutzung von Stärke und Fett bewirkt.

Tabelle 33: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Silagen aus Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Dornburg 2005

Substrat	oTS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
Landsb. Gemenge	90,2	574,77	314,79	79,3	24963,0	
Futterroggen (Vit.)	90,7	868,99	522,23	62,6	32691,3	
Mais Hauptfrucht	96,0	533,58	290,69	165,1	47992,4	
Mais auf LG	95,8	552,05	300,17	146,2	43885,3	68848,3
Mais auf WFR	95,9	536,67	291,36	148,4	43238,5	75929,8
Sudangras Hauptfrucht	95,5	406,35	219,47	139,4	30593,9	
Sudangras auf LG	96,4	400,21	216,50	107,6	23295,1	48258,1
Sudangras auf WFR	94,1	409,25	221,09	121,0	26751,4	59442,7

Wie Tabelle 34 verdeutlicht, reichten die Erträge 2006 nicht an die des Jahres 2005 heran. Zurückzuführen ist dies hauptsächlich auf die geringeren Biomasseerträge der Winterzwischenfrüchte, aber auch Mais und Sudangras blieben unter den Ergebnissen des Vorjahres.

Tabelle 34: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Dornburg 2006

Substrat	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
LG vor Sudangras	16,1	556,7	307,7	59,2	18217,0	
LG vor Mais	16,6	556,7	307,7	58,1	17878,5	
WFR vor Sudangras	15,4	609,6	340,1	38,3	13025,8	
WFR vor Mais	15,5	609,6	340,1	41,2	14012,1	
Mais Hauptfrucht	33,4	561,9	307,2	147,8	45409,4	
Mais auf LG	33,0	562,4	305,9	138,1	42246,7	60125,2
Mais auf WFR	30,0	559,3	304,0	127,7	38816,6	52.828,7
Sudangras Hauptfrucht	26,6	452,6	247,0	88,8	21937,1	
Sudangras auf LG	24,7	452,9	246,9	94,0	23208,2	41425,1
Sudangras auf WFR	28,0	453,7	247,2	102,3	25292,3	38318,2

Die Methanerträge verlaufen relativ proportional zu den Ertragsergebnissen. Silierverluste sind bei allen Fruchtarten als gering einzuschätzen (Tab. 35).

Tabelle 35: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Silagen aus Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Zweitfruchtversuch Dornburg 2006

Substrat	oTS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
LG vor Sudangras	90,45	528,4	301,2	59,2	17830,3	
LG vor Mais	91,10	528,4	301,2	58,1	17498,9	
WFR vor Sudangras	93,62	536,4	303,6	38,3	11629,5	
WFR vor Mais	91,32	536,4	303,6	41,2	12510,1	
Mais Hauptfrucht	95,60	548,5	300,2	147,8	44372,6	
Mais auf LG	96,32	550,7	301,0	138,1	41571,4	59070,3
Mais auf WFR	94,96	551,7	301,4	127,7	38485,2	50995,3
Sudangras Hauptfrucht	95,63	450,2	246,7	88,8	21910,8	
Sudangras auf LG	94,93	450,7	245,3	94,0	23058,5	40888,8
Sudangras auf WFR	95,60	452,3	245,5	102,3	25112,0	36741,5

Die Biomasseerträge bei Mais sind 2006 sowohl im Anbau als Hauptfrucht als auch als Zweitfrucht auf LG und WFR geringer als im Versuchsjahr 2005, verhalten sich aber in der Relation

wie im Vorjahr (Abb. 21). So erreichte der Mais in beiden Jahren als Hauptfrucht höhere Erträge als in Zweitfruchtstellung.

Die niedrigen Erträge des Sudangrases in Hauptfruchtstellung 2006 begründen sich in den ungünstigen Temperaturbedingungen bei der früheren Saat der Hauptfrucht. Es herrschten zu diesem Zeitpunkt Bodentemperaturen von unter 12 °C, die ein zügiges Keimen des Saatgutes nicht zuließen. Das nach der Ernte der Winterzwischenfrüchte etwa 14 Tage später gesäte Sudangras entwickelte sich besser, verlor dennoch gegenüber den Erträgen des Jahres 2005, was an den trockenen Bedingungen im Juni/Juli 2006 lag. Erneut war jedoch der Winterfutterroggen die bessere Winterzwischenfrucht für Sudangras (Abb. 21).

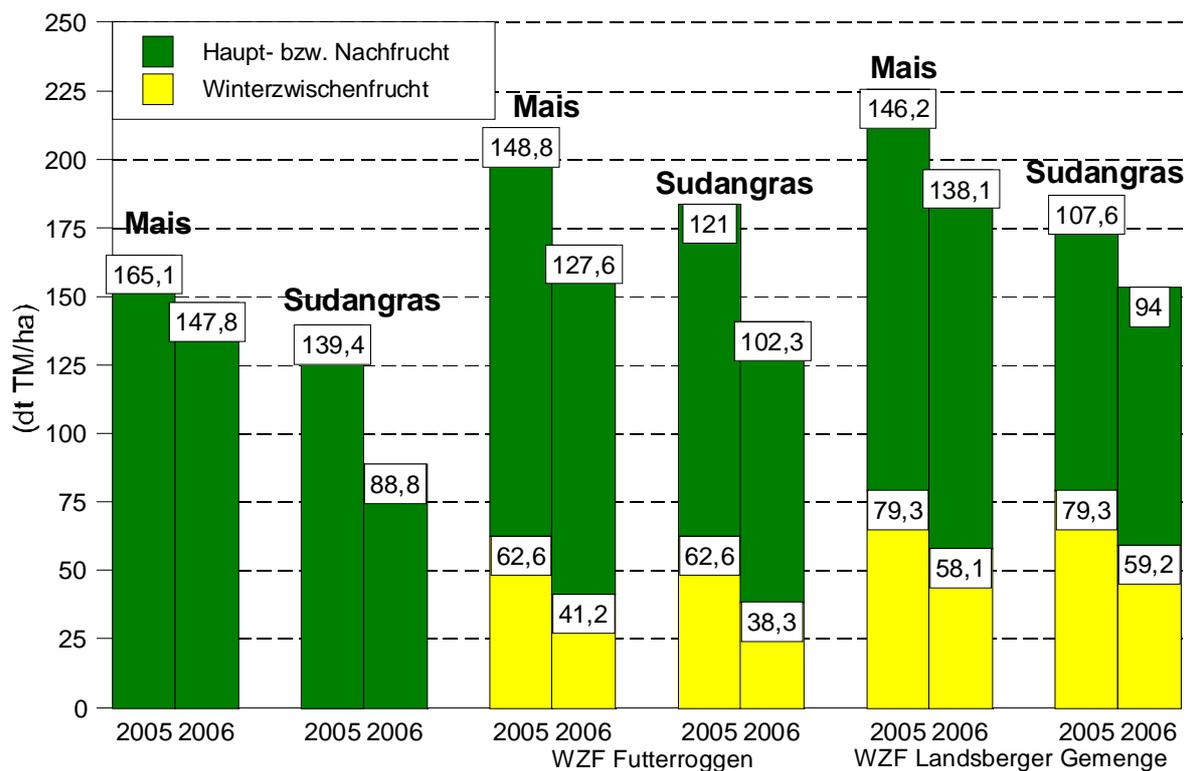


Abbildung 21: Erträge von Mais und Sudangras in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung nach Futterroggen und Landsberger Gemenge, VS Dornburg 2005 und 2006

3.2.2 Versuchsstandort Heßberg

Am Standort Heßberg wurde im ersten Versuchsjahr nur Futterroggen als Winterzwischenfrucht geprüft. Nach der Ernte des Futterroggens kamen die Zweitfrüchte Mais und Sudangras zu zwei unterschiedlichen Terminen zur Aussaat.

Erstaunlicherweise war die Ertragshöhe beider Fruchtarten sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung annähernd identisch, allerdings auf einem sehr niedrigen Niveau (Tab. 36). Dahingegen erreichte die im besprochenen Versuch in Zweitfruchtstellung angebaute Maissorte „Constantino“ im Landessortenversuch (LSV) in Heßberg 196,5 dt TM/ha, der Durchschnittsertrag des LSV lag bei 183,4 dt TM/ha.

Tabelle 36: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Heßberg 2005

Substrat	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ernteertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
Winterfutterroggen	17,0	528,41	292,70	31,6	9249,2	
Winterfutterroggen	19,8	528,41	292,70	50,0	14634,8	
Mais Hauptfrucht	34,3	563,58	307,91	130,7	40243,9	
Mais auf WFR 1.T	33,8	564,19	308,52	132,5	40878,5	50127,7
Mais auf WFR 2.T	30,0	563,35	307,79	135,4	41674,7	56309,6
Sudangras Hauptfrucht	22,9	453,82	246,28	133	32754,8	
Sudangras auf WFR 1. T.	22,7	453,58	245,83	135,4	33285,5	42534,7
Sudangras auf WFR 2. T.	23,6	452,29	246,38	147,3	36291,7	50926,5

Im Versuchsjahr 2006 (Tab. 37) zeigte sich ein völlig anderes Versuchsbild als 2005. Während sich die Erträge beim Mais und auch beim Sudangras sowohl in der Hauptfruchtstellung als auch in der Zweitfruchtstellung auf Futterroggen fast ähnelten, ist zu erkennen, dass beide Fruchtarten nach Landsberger Gemenge deutliche Ertragseinbußen hatten. Dies ist begründet durch den sehr hohen Wasserbedarf dieser Winterzwischenfrucht.

Tabelle 37: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Heßberg 2006

Substrat	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
LG vor Sudangras	12,9	556,7	307,8	66,9	20593,7	
LG vor Mais	13,8	556,7	307,8	69,6	21424,8	
WFR vor Sudangras	16,7	609,8	340,1	65,4	22243,1	
WFR vor Mais	15,7	609,8	340,1	60,7	20644,6	
Mais Hauptfrucht	31,1	563,4	306,4	206,6	63306,4	
Mais auf LG	22,5	550,6	296,5	150,0	44476,3	65901,1
Mais auf WFR	29,3	562,1	304,2	189,3	57587,0	78231,6
Sudangras Hauptfrucht	23,6	453,0	245,0	166,1	40690,1	
Sudangras auf LG	18,9	453,1	246,6	129,6	31962,7	52556,0
Sudangras auf WFR	20,9	453,5	245,3	153,6	37672,0	59925,1

Beim Vergleich von Mais und Sudangras in Hauptfruchtstellung und dem kumulierten Ertrag mit WFR und LG ist ein Anstieg der Biomasseleistung aller Fruchtarten zu erkennen. Eine Ausnahme bildet das Sudangras im 2. Anbaujahr, wo sehr deutlich der hohe Wasserbedarf des LG gegenüber dem 2005 alleinig als Vorfrucht angebauten WFR zu sehen ist. Während Mais und Sudangras im ersten Versuchsjahr fast auf dem gleichen Ertragsniveau lagen, war der Mais dem Sudangras 2006 in allen Varianten überlegen (Abb. 22).

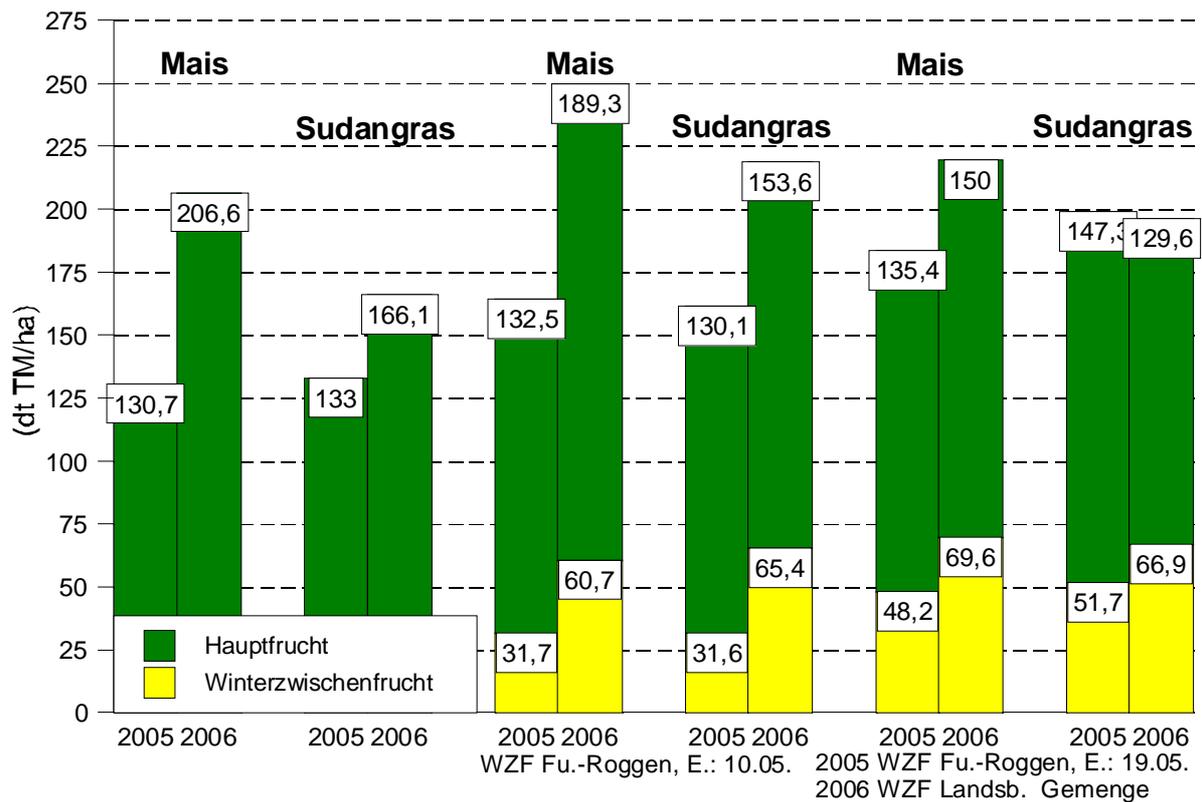


Abbildung 22: Erträge von Mais und Sudangras in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung nach Futterroggen (2005: 2 Erntetermine) und Landsberger Gemeinde, VS Heßberg 2005 und 2006

3.2.3 Versuchsstandort Kirchengel

Wie bereits am Standort Heßberg diskutiert, reichten die Maiserträge des Zweitfruchtversuchs 2005 auch in Kirchengel nicht an die der entsprechenden LSV heran. Hier wurden im LSV Silomais früh durchschnittlich 152,1 dt TM/ha ermittelt, die Sorte „Constantino“ wies 161,7 dt TM/ha auf. Im LSV Silomais mittelfrüh, in dem auch die im besprochenen Versuch in Hauptfruchtstellung geprüfte Sorte „Maibi“ stand, lag der Durchschnittsertrag bei 149,4 dt TM/ha, wobei „Maibi“ mit 153,0 dt TM/ha ebenfalls das Versuchsmittel übertraf.

Im Jahr 2005 wies das Sudangras sowohl als Zweitfrucht nach Landsberger Gemeinde als auch in Hauptfruchtstellung höhere Erträge auf als Mais, wobei das Ertragsniveau bei ca. 130 dt TM/ha lag. Als Zweitfrucht nach Futterroggen erzielte Sudangras deutlich niedrigere Erträge als in den o. g. zwei Varianten. Der Mais dagegen erreichte als Zweitfrucht nach Futterroggen in etwa den gleichen Ertrag wie in Hauptfruchtstellung, nach Landsberger Gemeinde war der Ertrag deutlich niedriger (Tab. 38).

Tabelle 38: Biogas- und Methanausbeuten sowie Methanerträge verschiedener Biomassepflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung, VS Kirchengel 2005

Substrat	TS (%)	Biogas (l/kg oTS)	Methan (l/kg oTS)	Ertrag (dt oTS/ha)	Methanertrag (l/oTS/ha)	Summe ZF (l/oTS/ha)
Landsb. Gemenge	14,8	550,72	309,61	25,6	7925,9	
Futterroggen (Vit.)	16,3	602,70	336,57	81,8	27531,6	
Mais Hauptfrucht	30,2	567,48	308,95	103,6	32006,9	
Mais auf LG	30,4	569,87	310,77	77,0	23929,5	31855,4
Mais auf WFR	30,6	567,41	308,42	101,0	31150,2	58681,8
Sudangras Hauptfrucht	25,1	452,61	244,93	134,3	32893,8	
Sudangras auf LG	28,8	453,31	244,41	127,0	31040,0	38965,9
Sudangras auf WFR	26,8	454,04	244,55	96,5	23598,7	51130,3

Die bereits obig erläuterten Ergebnisse sind in Abbildung 23 nochmals graphisch dargestellt. Im Gegensatz zu den Versuchen in Heßberg zeigt das Sudangras in Kirchengel als Zweitfrucht nach LG deutlich bessere Biomasseerträge als der Mais. Genau gegensätzlich verhalten sich die Nachfrüchte beim Anbau nach Winterfutterroggen.

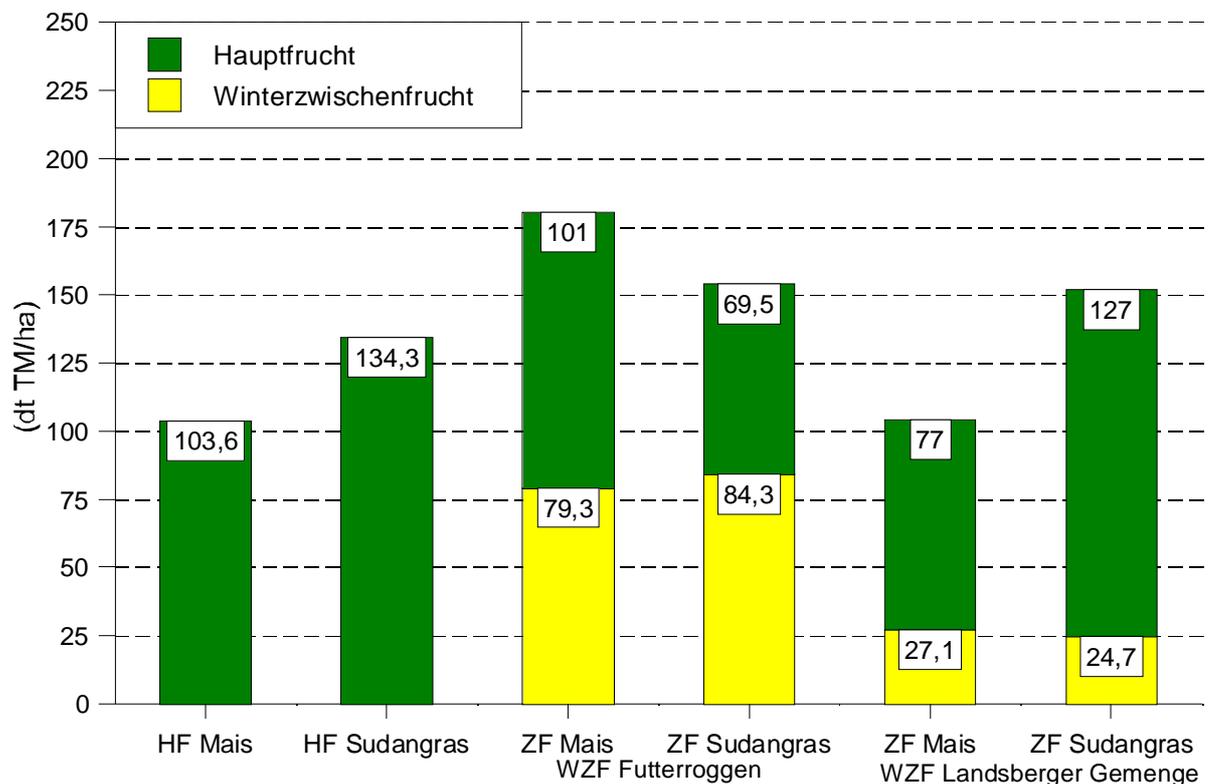


Abbildung 23: Erträge von Mais und Sudangras in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung nach Futterroggen und Landsberger Gemenge, VS Kirchengel 2005

Am Standort Kirchengel konnte der Versuch nur im Jahr 2005 ausgewertet werden, da 2006 das Sudangras, wahrscheinlich wegen ungünstiger Witterungsbedingungen, insbesondere niedrigen Temperaturen, zur Aussaat, nicht aufblief.

Im Mittel beider Jahre und Standorte übertrifft der Mais das Sudangras sowohl in Hauptfruchtstellung als auch nach beiden Winterzwischenfrüchten (Abb. 24). Es ist aber zu beachten, dass der Versuch jeweils einheitlich zum Termin der Silomaisreife beerntet wurde. Das Sudangras war zu diesem Zeitpunkt noch relativ feucht und wies TS-Gehalte um 25 % auf. Möglicherweise wäre bei einem späteren Erntetermin bei den Sudangrasprüfglieder noch ein Ertragszuwachs erfolgt.

Die Streuung der Werte verdeutlicht gleichzeitig aber auch die großen Unterschiede der Jahre und Standorte, insbesondere in Hinblick auf die Witterungsbedingungen und die Wasserversorgung. Für grundlegende Aussagen sind weitere Untersuchungen dringend erforderlich.

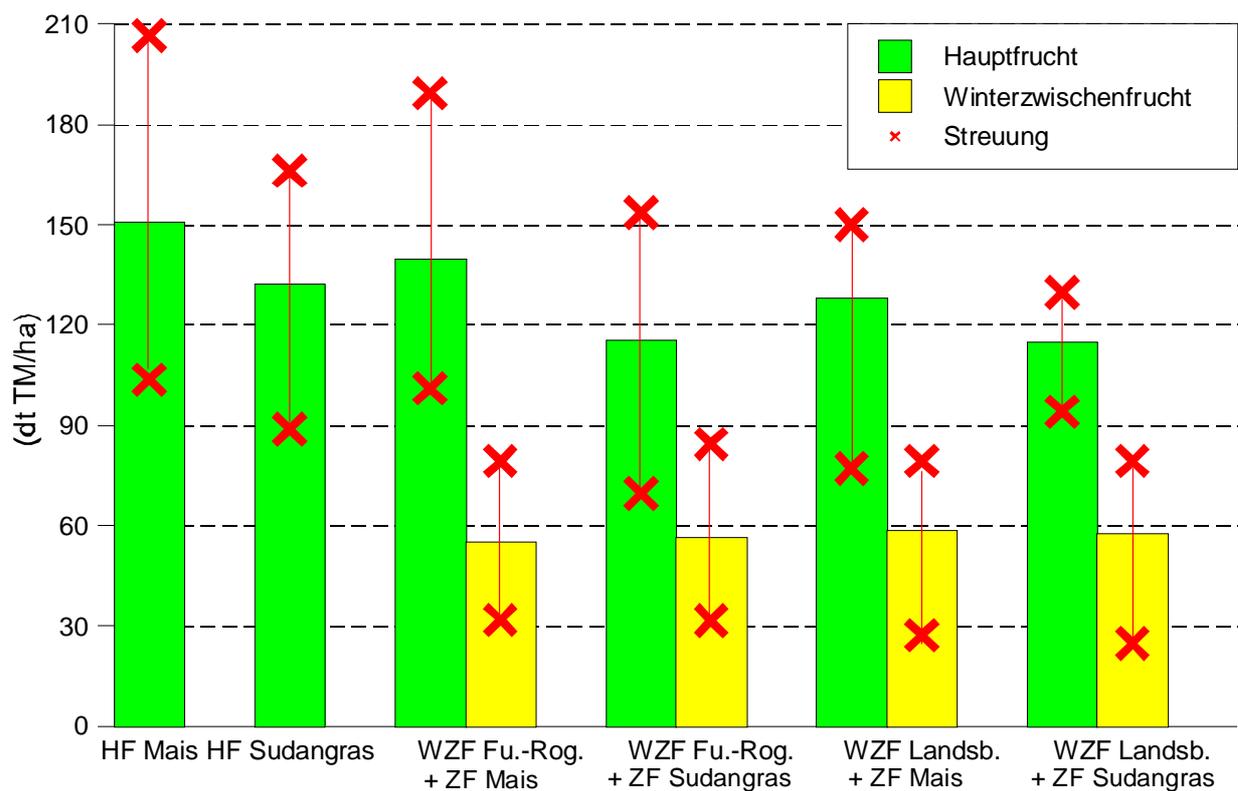


Abbildung 24: Erträge von Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung, Mittel der Jahre und Standorte

3.3 Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras

Am Standort Heißberg wurde im Zweitfruchtversuch 2005 der Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die Wuchshöhe von Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung (später Aussattermin) untersucht (Abb. 25).

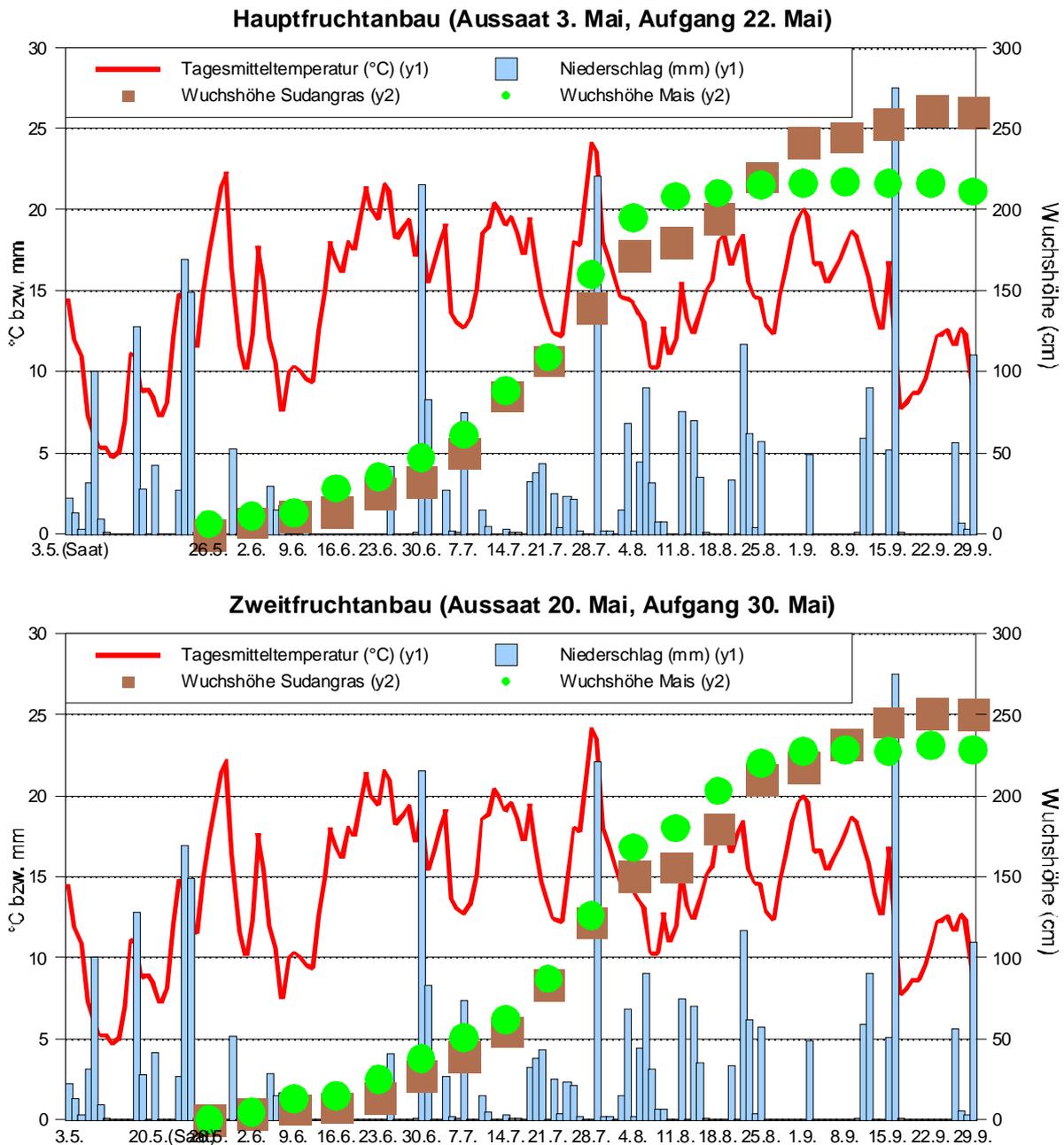


Abbildung 25: Einfluss von Temperatur und Niederschlag auf die Wuchshöhe von Mais und Sudangrass in Haupt- und Zweitfruchtstellung nach Futterroggen, VS Heßberg 2005

Wie in der Abbildung zu erkennen ist, liefen Mais und Sudangrass sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung zum gleichen Zeitpunkt auf, was an den ungünstigen Witterungsbedingungen zum Aussaatzeitpunkt der Hauptfrucht lag. Im Hauptfruchtanbau stagnierte das Längenwachstum des Sudangrasses ab dem 25. August. Zu diesem Zeitpunkt setzten die Blüte und anschließende Kornfüllung ein. In Zweitfruchtstellung stellte Sudangrass sein Längenwachstum erst Mitte September ein, so dass durch eine längere Vegetationszeit durch Verschiebung der Ernte in den Oktober der Ertrag möglicherweise noch gesteigert werden könnte. Mais hingegen zeigte sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung einen fast identischen Wachstumsverlauf. Die Kolbenbildung, zu erkennen an der Stagnation des Längenwachstums, begann in beiden Varianten um den 25. August.

Die Ergebnisse des Jahres 2005 gaben den Anstoß, die Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras in einem Exaktversuch am Standort Dornburg 2006 näher zu untersuchen. Hierzu wurden Mais und Sudangras zu zwei unterschiedlichen Terminen ausgesät, wobei der erste Termin mit der Aussaat in Hauptfruchtstellung (Ende April), der zweite mit einem Anbau in Zweitfruchtstellung (Mitte Mai) zusammenfiel. Bei Zeiternten alle zwei Wochen ab Anfang Juli wurden die Wuchshöhe, der Ertrag und der TS-Gehalt bestimmt.

Wie Abbildung 26 zeigt, entwickelten sich Mais und Sudangras nicht wie im Vorjahr in Heßberg parallel zueinander. Beim Mais setzte zu beiden Aussaatterminen nach der ersten Junidekade ein sprunghaftes Längenwachstum ein. Dieser Wachstumsschub fiel mit hohen Temperaturen in dieser Zeitspanne zusammen.

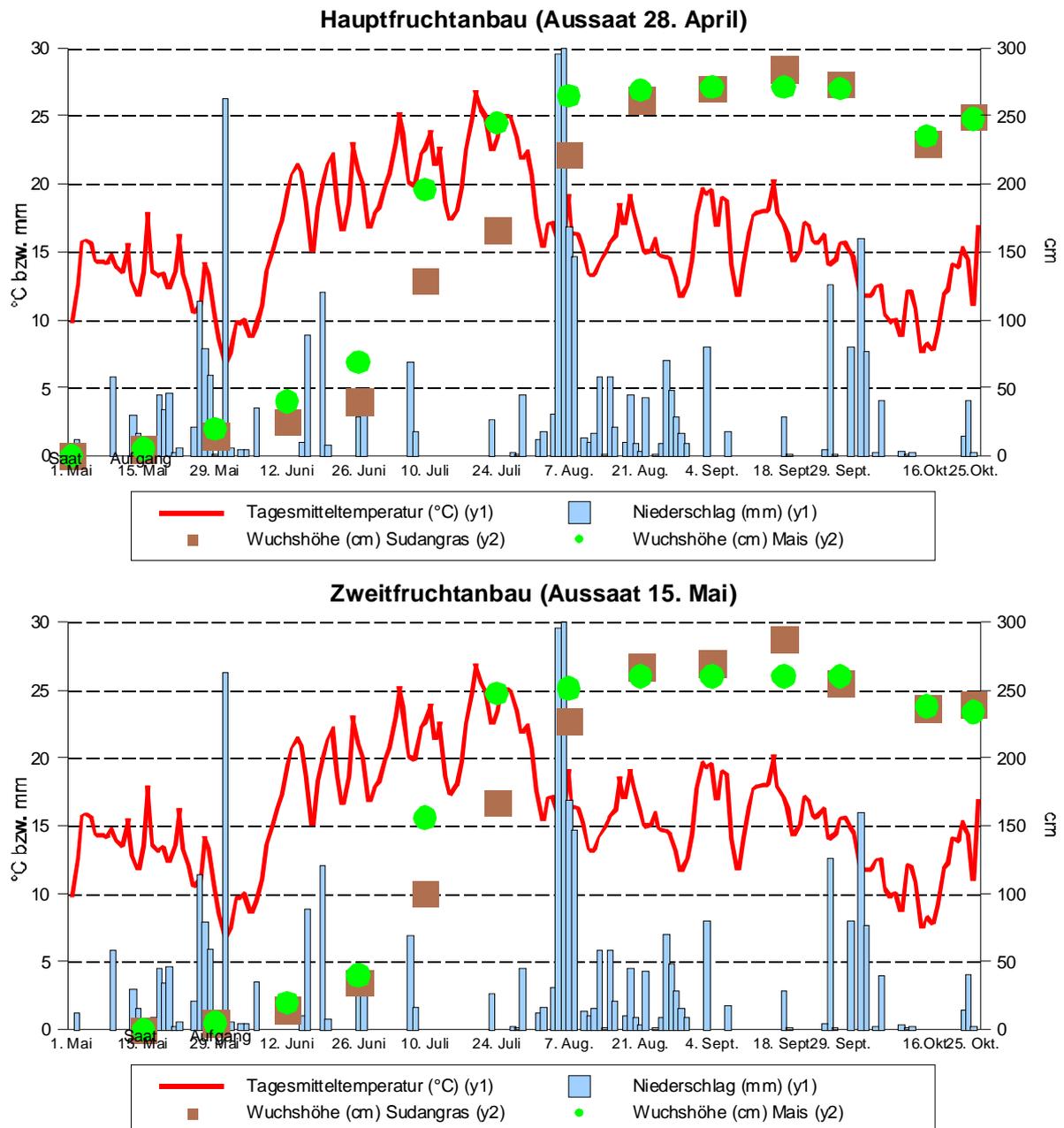


Abbildung 26: Entwicklung der Wuchshöhe von Mais und Sudangras in Abhängigkeit von Aussaattermin und Witterungsverhältnissen, VS Dornburg 2006

Das Sudangras wuchs dagegen kontinuierlich und holte den Mais im der Wuchshöhe Ende August wieder ein. Die Pflanzenlängen beider Fruchtarten unterschieden sich in Haupt- und Zweitfruchtstellung kaum voneinander. Auffallend ist, dass weder Mais noch Sudangras im Juni/Juli, als sehr hohe Temperaturen herrschten und über nahezu sechs Wochen kaum Niederschläge fielen, das Wachstum einstellten. Nach einem Maximum um den 20. September ging die Wuchshöhe wieder leicht zurück, was auf ein Fahnenknicken beim Mais und die Samenreife beim Sudangras zurückzuführen ist.

Wie Abbildung 27 und Tabelle 39 veranschaulichen, stieg der Ertrag beim Mais sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung kontinuierlich an und erreichte sein Optimum zwischen Anfang und Mitte September. Zu diesem Zeitpunkt wies er auch TS-Gehalte auf, die eine sichere Silierung zuließen. Bereits Ende September stiegen die TS-Gehalte über 35 % an, der Mais hätte dann sehr hohe Rohfasergehalte aufgewiesen und wäre schlecht silierbar gewesen.

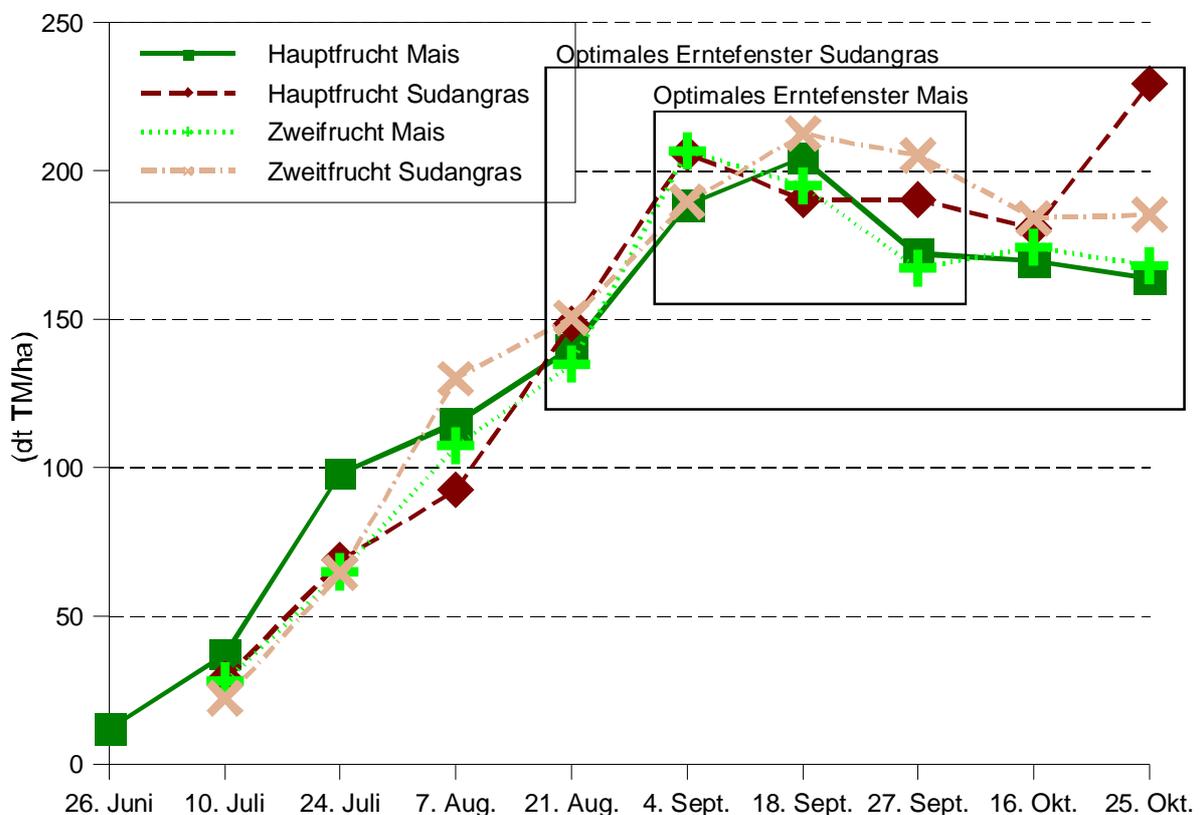


Abbildung 27: Entwicklung der Trockenmasseerträge von Mais und Sudangras in Abhängigkeit vom Aussaat-termin, VS Dornburg 2006

Tabelle 39: Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras in Abhängigkeit vom Aussattermin, VS Dornburg 2006

Erntetermin	Wuchshöhe (cm)	TS (%)	Ertrag (dt TM/ha)	Wuchshöhe, 2. Aufwuchs (cm)	TS, 2. Aufwuchs (%)	Ertrag, 2. Aufwuchs (dt TM/ha)	Gesamtertrag (dt TM/ha)
Mais Hauptfruchtstellung							
26.06.06	68,8	13,9	12,1	Kein Wiederaufwuchs			12,1
10.07.06	196,3	12,1	37,2	Kein Wiederaufwuchs			37,2
24.07.06	245,0	21,2	97,8				97,8
07.08.06	265,0	23,4	114,8				114,8
21.08.06	268,8	25,6	140,1				140,1
04.09.06	271,3	37,7	188,4				188,4
18.09.06	271,3	35,3	204,3				204,3
27.09.06	270,0	37,3	172,0				172,0
16.10.06	235,5	43,9	169,5				169,5
25.10.06	247,8	46,3	163,8				163,8
Mais Zweitfruchtstellung							
10.07.06	156,3	9,8	28,3	Kein Wiederaufwuchs			28,3
24.07.06	247,5	16,9	64,7	Kein Wiederaufwuchs			64,7
07.08.06	251,3	21,3	107,5				107,5
21.08.06	260,0	22,8	134,9				134,9
04.09.06	260,0	34,5	206,7				206,7
18.09.06	260,0	37,1	194,9				194,9
27.09.06	260,0	36,2	167,1				167,1
16.10.06	238,3	38,9	174,4				174,4
25.10.06	233,8	44,4	168,2				168,2
Sudangras Hauptfruchtstellung							
10.07.06	128,8	17,5	28,8	223,0	23,8	100,2	129,0
24.07.06	166,3	18,9	68,6	209,3	21,4	99,8	168,4
07.08.06	222,5	25,0	92,6	140,8	20,3	36,1	128,7
21.08.06	262,5	28,1	148,3	113,3	17,5	34,1	182,4
04.09.06	270,0	32,6	206,0	92,3	19,8	33,0	239,0
18.09.06	285,0	34,2	190,4	Kein erntewürdiger Wiederaufwuchs			190,4
27.09.06	273,8	34,8	190,2	Kein erntewürdiger Wiederaufwuchs			190,2
16.10.06	230,0	31,7	180,6				180,6
25.10.06	249,5	30,6	229,3				229,3
Sudangras Zweitfruchtstellung							
10.07.06	101,3	15,7	22,2	232,0	26,5	97,5	119,7
24.07.06	167,5	19,8	64,4	209,3	23,0	91,0	155,5
07.08.06	227,5	24,8	129,9	138,0	19,4	34,5	164,4
21.08.06	267,5	26,0	150,6	112,3	19,6	33,9	184,5
04.09.06	270,0	31,5	189,5	93,3	19,2	31,0	220,5
18.09.06	287,5	31,6	212,6	Kein erntewürdiger Wiederaufwuchs			212,6
27.09.06	255,0	33,0	205,1	Kein erntewürdiger Wiederaufwuchs			205,1
16.10.06	236,8	31,3	184,0				184,0
25.10.06	240,0	33,2	185,3				185,3

Auch beim Sudangras entwickelte sich der Ertrag relativ konstant bis Anfang September und blieb dann bei beiden Aussatterminen relativ konstant auf hohem Niveau, wobei die Ertrags-
höhe in etwa auf dem gleichen Niveau wie beim Mais lag. Der Ertragszuwachs beim Aussaat-

termin in Hauptfruchtstellung ist durch die Samenbildung in den Rispen zurückzuführen. Ab Anfang September erreichte das Sudangras auch die für die Silierung erforderlichen TS-Gehalte. Im Gegensatz zum Mais stieg die TS jedoch bis zur letzten Ernte Ende Oktober nicht über 35 % an, so dass das optimale Erntefenster beim Sudangras über fast sechs Wochen reichte. Beim Mais waren es nur drei Wochen. Sollten sich diese Ergebnisse in weiterführenden Versuchen bestätigen, würde dies für den Landwirt deutliche arbeitswirtschaftliche Vorteile haben. Die Arbeitsspitze der Silomaisernte, die sich mit der Aussaat von Wintergerste und der Aussaatvorbereitung für Winterweizen überschneidet, könnte durch einen teilweisen Ersatz des Maises für die Biogasanlage durch Sudangras bzw. andere Sorghumhirsen entschärft werden, da man diese zum technologisch günstigen Zeitpunkt ernten kann.

Anders als Mais treibt Sudangras nach der Ernte wieder aus. Bei den Ernten bis Anfang September erfolgte noch ein erntewürdiger Wiederaufwuchs, der beim letzten Schnitttermin Ende Oktober nochmals beerntet wurde. Allerdings übertrafen die Gesamterträge der zweischnittigen Nutzung die der einmal geernteten Prüfglieder nicht signifikant. Auch die TS-Gehalte entsprachen bei beiden Schnitten nicht den Anforderungen, so dass nach bisherigem Kenntnisstand eine Zweischnittnutzung des Sudangrases kaum sinnvoll ist.

3.4 Herbizidversuche

Entscheidend für einen wirtschaftlichen Anbau der einzelnen Kulturen ist ein effizienter Pflanzenschutz, vor allem bezüglich der Bekämpfung von Unkräutern im Jungpflanzenstadium.

Da insbesondere in Topinambur und Durchwachsener Silphie keinerlei Pflanzenschutzmittel zugelassen sind, wurde in der VS Dornburg in den Jahren 2005 und 2006 Herbizidversuche zu diesen Kulturen durchgeführt.

Topinambur

Hier kamen im ersten Jahr, neben einer unbehandelten Kontrolle, eine Variante mit dem Vorsaateinblendherbizid Treflan, eine Spritzfolge mit Stomp SC im Voraufbau und Boxer im Nachaufbau sowie eine Nachaufbauspritzung mit Kontakt 320 SC zur Anwendung. Die Auswahl dieser, hauptsächlich gegen zweikeimblättrige Unkräuter wirkenden, Mittel erfolgte anhand der in anderen Korbblütlern, z. B. Sonnenblume, zugelassenen Herbizide. Zusätzlich wurde das Graminid Gallant Super geprüft.

Nach der Pflanzung im April entwickelte sich der Topinambur nur sehr zögerlich. Dies lag an der kühlen, trockenen Witterung. Nur ganz vereinzelt liefen Pflanzen auf, so dass am 12.05.2005 entschieden wurde, die fehlenden Knollen nachzulegen. Dadurch blieben die Pflanzen während der gesamten Versuchsdauer in sehr unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Durch das Nachpflanzen wurde der Spritzfilm von Basta (Var. 3) zerstört, so dass die Wirkung dieses Mittels daraufhin nicht ausreichend war. Trotzdem war die Wirkung der Spritzfolge in Variante 3 zufriedenstellend. Kontakt 320 SC und Treflan konnten als Solo-Varianten (auch dem langen Zeitraum durch das doppelte Legen geschuldet) nicht überzeugen. Gallant Super wirkte erwartungsgemäß gegen Ungräser. Phytotoxizität trat an der Kultur nicht auf (Tab. 40).

Tabelle 40: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Topinambur, VS Dornburg 2005

Versuch: Herbizidvergleich			Kultur: Topinambur						
Versuchsort:	Versuchsstation Dornburg		Versuchsbetreuer:	Frau Ormerod					
Sorte:	Gute Gelbe		Bodenart/-zahl:	Lehm/62					
Vorfrucht:	Sommergerste		N-Düngung:	145 kg/ha					
Pflanzung:	06.04./12.05.		Ernte:	-					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %
	l/ha	Datum/ES	Bonitur: 13.06.2005						
			POLSS	CHEA L	THLA R	FUMOF	HERBA/SG	GESAMT	
1 UK	-	-	11	2	5	2	11	31	
2 Treflan	2,0	05.04/VSE	0	0	60	13	33		
3 SF	3,0	09.05/VA	60	100	80	100	80		
Basta + Stomp SC	3,0	31.05/20							
4 Kontakt 320 SC	2,0	31.05./20	0	0	0	0	0		
5 Gallant Super	1,0	31.05./20					90		
HERBA: VIOSS									

Bei der Wiederholung des Versuches 2006 kamen die wirksamsten Mittel der Prüfung 2005 erneut zum Einsatz. Erschwert wurde der Versuch durch die niedrigen Temperaturen und die Trockenheit nach dem Legen der Knollen, die den Austrieb lange verzögerten. Auf der gesamten Versuchsfläche liefen jedoch zahlreiche Disteln auf, so dass am 12.05. der gesamte Versuch mit Roundup gespritzt wurde.

Nach dem Spritzen der Versuchsvarianten zeigten die Varianten 2 (Tankmischung Boxer + Stomp SC) und 3 (Spritzfolge Vorsaateinarbeitung Treflan + Stomp SC im Nachauflauf) die beste Wirkung. Gegen die zweite Distelwelle hatten die Mittel jedoch keine Chance. Die hohe Wüchsigkeit des Topinambur konnte jedoch diesen erneuten Unkrautdruck überwinden.

Schäden zeigten sich beim Einsatz von Stomp SC. Sowohl in der Tankmischung mit Boxer als auch in der Soloanwendung kam es zu einer Wuchsdepression bei Einzelpflanzen bis zu 80 %, im Durchschnitt der gesamten Parzellen von 10 bis 20 %. Weiterhin waren die Pflanzen in diesen Varianten aufgehellt und es wurde eine leichte Ausdünnung im Prüfglied 3 bonitiert (Tab. 41).

Tabelle 41: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Topinambur, VS Dornburg 2006

Versuch: Herbizidvergleich			Kultur: Topinambur						
Versuchsort:	Versuchsstation Dornburg		Versuchsbetreuer:	Frau Ormerod					
Sorte:	Gute Gelbe		Bodenart/-zahl:	Lehm/62					
Vorfrucht:	Sommergerste		N-Düngung:	149 kg N/ha					
Pflanzung:	26.04.		Ernte:	-					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %
	l/ha	Datum/ES	Bonitur: 27.06.2006						
			CIRSS	THLAR	CHEAL	VERSS	HERBA	GESAMT	
1 UK	-	-	17	2	3	2	2	26	0
2 TM Boxer + Stomp SC	3,0+ 3,0	09.06/NA	0	65	60	40	65		72/12 WD
3 SF Treflan + Stomp SC	2,0 3,5	26.04/VSE 09.06/NA	0	60	80	60	70		80/20 WD, 3A
4 Treflan	2,0	26.04/VSE	0	0	0	0	0		
HERBA: GALAP, FUMOF, SOLNI									

Der im Versuchsplan angedachte Einsatz der Maschinenhacke war nicht mehr möglich, da die Pflanzen bereits zu groß waren und der Wurzelbereich massiv geschädigt worden wäre. Generell ist die Anwendung mechanischer Pflegemaßnahmen in Topinambur schwierig, da damit immer eine Beeinträchtigung der Knollen einhergeht.

Insgesamt ist festzustellen, dass beim Anbau von Topinambur in normalen Jahren auf Feldern mit durchschnittlichem Unkrautbesatz die Anwendung eines Vorsaaateinarbeitungs herbizides und eines Mittels im Nachauflauf ausreicht, um den Jungpflanzen des Topinambur günstige Entwicklungsmöglichkeiten zu schaffen. Wichtig ist es, Wurzelunkräuter, insbesondere Disteln, in der Vorfrucht zu bekämpfen, da diese in der Kultur im Nachauflauf nicht bekämpfbar sind.

Durchwachsene Silphie

Da die Durchwachsene Silphie ebenso wie der Topinambur zu den Korbbblütengewächsen zählt, erfolgte die Auswahl der Herbizide im ersten Versuchsjahr analog zur vorab beschriebenen Kultur.

Auch hier trat im ersten Versuchsjahr 2005 eine starke Verunkrautung mit Kohl-Gänsedisteln (*Sonchus oleraceus*) und Ackerkratzdisteln (*Cirsium arvense*) auf. Darum wurde im Streichverfahren eine generelle Roundup-Behandlung durchgeführt. Die Silphie-Pflanzen entwickelten sich gut. Es gab nur geringe Ausfälle, die am 06.05.2005 nachgepflanzt wurden. Die einzelnen Solo-Varianten zeigten entsprechend ihrem Wirkungsspektrum eine ausreichende Wirkung, die jedoch nicht für unkrautfreie Bestände ausreichte. In Variante 4 kamen in Spritzfolge Treflan als Vorsaaateinarbeitungs- und Stomp SC als Nachauflaufvariante zum Einsatz. Das Ergebnis kann als gut bis sehr gut und als durchaus praxistauglich eingeschätzt werden. Eine leichte Phytotoxizität bei Kontakt 320 SC mit Blattaufhellungen hatte sich schnell überwachsen (Tab. 42).

Tabelle 42: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie, VS Dornburg 2005

Versuch: Herbizidvergleich			Kultur: <i>Silphium perfoliatum</i>						
Versuchsort:	VS Dornburg		Versuchsbetreuer:		Frau Ormerod				
Sorte:	Fa. Jelitto		Bodenart/-zahl:		Lehm/48				
Vorfrucht:	Brache		N-Düngung:		-				
Pflanzung:	06.04.2005		Ernte:		-				
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %) Bonitur: 31.05. und 13.06.2005						Phytotox in %
	l/ha	Datum/ES	CHEAL	POLLA	THLAR	CABPB/SG	HERBA	GESAMT	
1 UK	-	-	12 21	2 5	2 5	33	4 6	20 70	
2 Treflan	2,0	05.04./VSE	48 10	72 88	0 10	0	50 25		
3 Kontakt 320 SC	1,5	19.05./ES 14	2 0	40 15	60 15		38 60		70/25 AH
4 SF Treflan + Stomp SC	2,0 3,0	05.04./VSE 19.05./ES 14	92 95	98 93	100 95	93	95 90		
5 Gallant Super	1,0	31.05./ES 20				85			

HERBA: GALAP, VERSS, URTUR, EUPSS

Ähnlich wie beim Topinambur wurde auch bei der Durchwachsenen Silphie im zweiten Versuchsjahr das Mittelspektrum auf die wirksamsten Varianten reduziert. Zusätzlich kam in al-

len Varianten eine Maschinenhacke zum Einsatz. Der Unkrautdruck war 2006 deutlich geringer. Die Wirkung von Treflan kann als gut eingeschätzt werden. Auch die Tankmischung und Spritzfolge zeigten gute bis sehr gute Wirkungsgrade und bestätigten somit die Ergebnisse vom Vorjahr. Eine Phytotoxizität war nicht festzustellen. Leichte Vergilbungen der Keimblätter resultierten aus dem kühlen Frühjahr. Die Maschinenhacke erfolgte am 12. Juni und hatte eine gute zusätzliche Wirkung, so dass die Bestände bis zum Bestandesschluss nahezu unkrautfrei gehalten werden konnten (Tab. 43).

Tabelle 43: Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden in Durchwachsener Silphie, VS Dornburg 2006

Versuch: Herbizidvergleich			Kultur: Silphium perfoliatum						
Versuchsort:	VS Dornburg		Versuchsbetreuer:	Frau Ormerod					
Sorte:	Fa. Jelitto		Bodenart/-zahl:	Lehm/48					
Vorfrucht:	Brache		N-Düngung:	-					
Pflanzung:	05.05.2006		Ernte:	-					
Variante	Anwendung		Wirkungsgrad in % (UK = Deckungsgrad in %)						Phytotox in %
	l/ha	Datum/ES	Bonitur: 13.06.2006						
			POLSS	CHEAL	SOLNI	THLAR	HERBA	GESAMT	
LR UK + MH		-	5	5	1	1	3	17	-
1 SF Treflan + Maschinenhacke	2,0	04.05./VSE 12.06	84	93	91	89	66		0
2 SF Treflan + Stomp SC + Maschinenhacke	2,0 3,5	04.05./VSE 02.06./ES 14 12.06.	88	95	90	88	90		0
3 TM Boxer + Stomp SC + Maschinenhacke	3,0+3,0	02.06./ES 14 12.06	70	88	90	90	90		0

HERBA: GALAP, VERSS, URTUR, EUPSS, FUMOF; A-RAPS; CAPBP

Mit den erhaltenen Versuchsergebnissen konnten auch für die Durchwachsene Silphie erste Anhaltspunkte für die Zulassung bzw. die Genehmigung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln geschaffen werden. Keines der geprüften Mittel besitzt jedoch gegenwärtig eine Zulassung in der Kultur.

4 Ökonomische Betrachtung

Entscheidend für einen wirtschaftlichen Anbau von Biogaspflanzen sind einerseits deren Herstellungskosten bzw. deren Nutzungskosten im Vergleich zur Alternativkultur. Zusätzlich sind ggf. Unterschiede in der Methanausbeute zu beachten.

Auf Basis der Versuchsergebnisse der Parzellenversuche wurde für die aussichtsreichen Kofermentpflanzen Sudangras, Zuckerhirse und Durchwachsene Silphie eine ökonomische Erstabschätzung vorgenommen. Diese ist, aufgrund zahlreicher offener Fragen im Produktionsverfahren, für konkrete betriebswirtschaftliche Berechnungen nur eingeschränkt nutzbar. Die wesentlichen unter Praxisbedingungen zu bestätigenden Parameter für eine ökonomische Bewertung sind, neben Kosten für das Anbauverfahren, die Ertragshöhe und –stabilität, die Konservierbarkeit und die Konservierungsverluste sowie die Eignung zur Vergärung einschließlich der erreichbaren Methanausbeute.

Sudangras und Zuckerhirse

Die Kalkulation wesentlicher Parameter und Leistungen erfolgte für die Hirsearten in Anlehnung an die „Betriebswirtschaftlichen Richtwerte Silomaisproduktion“ (Degner, et al. 2007), die auf KTBL-Daten basiert, da die Produktionsverfahren relativ ähnlich sind.

Die zugrundegelegten Erträge basieren auf den durchschnittlichen Parzellenerträgen. Für Sudangras wurden dabei Erträge von 110 dt TM/ha und 140 dt TM/ha, für Zuckerhirse von 120 dt TM/ha und 160 dt TM/ha angesetzt. Die im Rahmen des Projektes auf Versuchspartellen realisierten Erträge beliefen sich für Sudangras durchschnittlich auf 130 dt TM/ha +/- 15 % und für Zuckerhirse auf 140 dt TM/ha +/- 15 %.

Die unterstellte Ertragshöhe liegt dabei für Sudangras in etwa auf dem Niveau des Praxisanbaus von Silomais, bei Zuckerhirse leicht darüber (Tab. 44).

Tabelle 44: Parameter der Sudangras- und Zuckerhirseproduktion bei unterschiedlichen Parzellenerträgen

Nutzungsart	ME	Sudangras		Zuckerhirse	
		Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag	Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag
TM-Ertrag zur Ernte	dt/ha	110	140	120	160
TS-Gehalt	%	30	30	30	30
Grünmasseertrag, brutto	dt/ha	367	467	400	533
Energieverluste, total	%	12,5	12,5	12,5	12,5
TM-Verluste	%	8,9	8,9	8,9	8,9
TM-Ertrag netto	dt/ha	100	128	109	146
Energieertrag, netto	MJ NEL/ha	66.413	84.525	72.450	96.600
FM-Ertrag Futter netto	dt/ha	334	425	365	486

In die Direktkosten gingen, neben den Saatgutkosten, Düngemittelkosten auf Basis der in den Parzellenversuchen ermittelten Nährstoffentzüge ein. Gleichzeitig ist eine Rückführung der Biogasgülle zur Düngung (50 % des entzogenen Stickstoffs) berücksichtigt. Der Berechnung der Pflanzenschutzmittel liegen die in den Versuchen erprobten Herbizide zugrunde, wobei von einer zweimaligen Applikation im Vor- und Nachauflauf ausgegangen worden ist.

Die Arbeitsgänge im Produktionsverfahren wurden, mit Ausnahme der Aussaat, weitgehend an die Silomaisproduktion angelehnt und die üblichen Verfahrensleistungen beibehalten. Gleiches gilt auch für die Festkosten, wie Gebäude-, Flächen- und sonstige Kosten, da hier keine Änderungen zu erwarten sind.

Aus den ökonomischen Abschätzungen ergeben sich in Abhängigkeit vom Ertragsniveau Herstellungskosten von 1.199 (niedriges Ertragsniveau) und 1.376 €/ha (hohes Ertragsniveau) bzw. 12,0 und 10,8 €/dt TM für Sudangras (Tab. 45). Bei Zuckerhirse belaufen sich die Kosten aufgrund des höheren Ertragspotenzials auf 1.266 und 1.491 €/ha bzw. 11,6 und 10,2 €/dt TM (Tab. 46).

Der Vergleich mit den für Silomais unter mittleren Thüringer Anbauverhältnissen kalkulierten Herstellungskosten von 1.306 und 1.408 €/ha bzw. 11,9 und 11,4 €/dt TM zeigt, dass Sudangras und Zuckerhirse nach ersten Kalkulationen zumindest hinsichtlich der Herstellungskosten mit Silomais konkurrieren können, sofern die höheren Erträge im Praxiseinsatz stabil realisierbar sind. Für eine exakte Kalkulation der Produktionskosten und vor allem der gesamten Produktionskette, einschließlich der Silierung, sind weitere Untersuchungen im Praxismaßstab erforderlich.

Tabelle 45: Richtwerte für Herstellungskosten von Sudangras bei unterschiedlichen Parzellenerträgen

Position		ME	Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag	
Ertrag	Trockenmasse zur Ernte	dt TM/ha	110	140	
	Futtermittel frei Krippe bzw. Biogasanlage	dt/ha	334	425	
Direktkosten	Saatgut	€/ha	40	40	
	Düngemittel	€/ha	68	86	
	Pflanzenschutzmittel	€/ha	88	88	
	Konservierung	€/ha	18	22	
	Summe	€/ha	214	237	
Arbeitsleistungskosten	Unterhaltung Maschinen	€/ha	101	110	
	Kraft- u. Schmierstoffe	€/l 0,85	€/ha	97	109
	AfA Maschinen	€/ha	155	167	
	Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	10,9	12,9	
	Arbeitszeitbedarf nicht termingebunden	AKh/ha	2,5	2,5	
	Personalkosten	8,22 €/h Nebenk. 50 %	€/ha	165	190
	Lohnarbeit	€/ha	79	101	
Summe			597	677	
Arbeitsl. inkl. L+V	Summe	€/ha	663	753	
Gebäude	Vermögen	€/ha	3385	4308	
	Unterhaltung	€/ha	18	23	
	AfA	€/ha	113	144	
	Summe	€/ha	131	167	
Flächenkosten	Pacht	€/BP 2,8	BP	45	55
			€/ha	126	154
Sonstige	Berufsgenossenschaft	€/ha	20	20	
	sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	45	45	
	Summe	€/ha	65	65	
Summe Kosten		€/ha	1199	1376	
	dar. Arb.erl.kost. inkl. LBG o. Hilfs.	20,0 €/ha	€/ha	683	773
		€/dt FM	3,6	3,2	
		€/dt TM	12,0	10,8	

Tabelle 46: Richtwerte für Herstellungskosten von Zuckerhirse bei unterschiedlichen Parzellenerträgen

Position		ME	Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag	
Ertrag	Trockenmasse zur Ernte	dt TM/ha	120	160	
	Futtermittel frei Krippe bzw. Biogasanlage	dt/ha	365	486	
Direktkosten	Saatgut	€/ha	65	65	
	Düngemittel	€/ha	78	104	
	Pflanzenschutzmittel	€/ha	88	88	
	Konservierung	€/ha	19	26	
	Summe	€/ha	250	282	
Arbeitsleistungenkosten	Unterhaltung Maschinen	€/ha	104	117	
	Kraft- u. Schmierstoffe	€/l 0,85	€/ha	101	117
	AfA Maschinen	€/ha	158	174	
	Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	11,5	14,2	
	Arbeitszeitbedarf nicht termingebunden	AKh/ha	2,5	2,5	
	Personalkosten	8,22 €/h Nebenk. 50 %	€/ha	173	206
	Lohnarbeit	€/ha	77	102	
Summe			612	716	
Arbeitsl. incl. L+V	Summe	€/ha	681	799	
Gebäude	Vermögen	€/ha	3692	4923	
	Unterhaltung	€/ha	20	27	
	AfA	€/ha	123	164	
	Summe	€/ha	143	191	
Flächenkosten	Pacht	€/BP	BP		
		2,8	€/ha	45 55	
Sonstige	Berufsgenossenschaft	€/ha	20	20	
	sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	45	45	
	Summe	€/ha	65	65	
Summe Kosten		€/ha	1266	1491	
	dar. Arb.erl.kost. inkl. LBG o. Hilfs.	20,0 €/ha	€/ha	701	819
		€/dt FM	3,5	3,1	
		€/dt TM	11,6	10,2	

Durchwachsene Silphie

Auch der Kalkulation wesentlicher Parameter und Leistungen für die Durchwachsene Silphie liegen die „Betriebswirtschaftlichen Richtwerte Silomaisproduktion“ zugrunde. Die Nutzungsdauer der mehrjährigen Pflanze wurde mit 12 Jahren im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Werte gewählt. Die Ertragshöhe von 128 dt TM/ha (mittlerer Ertrag) bzw. 147 dt TM/ha (hoher Ertrag) basiert auf den durchschnittlichen Parzellenerträgen und bewegt sich dabei im Bereich des Praxisanbaus von Silomais (Tab. 47).

Tabelle 47: Parameter der Produktion von Durchwachsener Silphie bei unterschiedlichen Parzellenerträgen

Nutzungsart	ME	Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag
TM-Ertrag zur Ernte	dt/ha	128	147
TS-Gehalt	%	30	30
Grünmasseertrag, brutto	dt/ha	428	489
Energieverluste, total	%	12,5	12,5
TM-Verluste	%	8,9	8,9
TM-Ertrag netto	dt/ha	117	134
Energieertrag, netto	MJ NEL/ha	77.481	88.550
FM-Ertrag Futter netto	dt/ha	390	446

In den Produktionskosten wurden von einer Pflanzung der Durchwachsenen Silphie ausgegangen. In die Direktkosten gingen die tatsächlich anfallenden Pflanzgutkosten von einmalig

3.600 €/ha ein. Gleiches gilt für die Düngemittel, die auf Basis der in den Versuchen ermittelten Nährstoffentzüge berechnet worden sind. Eine Rückführung der Biogasgülle zur Düngung (50 % des entzogenen Stickstoffs) ist analog zu den Hirsearten berücksichtigt. Die Berechnung der Pflanzenschutzmittelkosten erfolgte anhand der in den Versuchen erprobten Herbizide. Dabei ist im Anpflanzjahr eine zweimalige Applikation im Vorsaateinarbeitungsverfahren und im Nachauflauf zugrundegelegt. Ab dem 2. Standjahr ist eine Unkrautbekämpfung nicht mehr erforderlich.

Die Arbeitsgänge im Produktionsverfahren entsprechen, außer der Pflanzung, die mit 300 €/ha veranschlagt wurde, weitgehend der Silomaisproduktion, so dass die üblichen Verfahrensleistungen beibehalten wurden. Dies gilt auch für die Festkosten, wie Gebäude-, Flächen- und sonstige Kosten, da sich hier keine Änderungen ergeben.

Gemäß der ökonomischen Abschätzung ergeben sich bei einem mittleren Ertrag Herstellungskosten von 1.322 €/ha bzw. 11,30 €/dt TM und bei einem hohen Ertrag Kosten von 1.361 €/ha bzw. 10,20 €/dt TM für die Durchwachsene Silphie (Tab. 48).

Tabelle 48: Richtwerte für Herstellungskosten von Durchwachsener Silphie bei unterschiedlichen Parzellenerträgen

Position		ME	Mittlerer Ertrag	Hoher Ertrag
Ertrag	Trockenmasse zur Ernte	dt TM/ha	128	147
	Futtermittel frei Krippe bzw. Biogasanlage	dt/ha	390	446
Direktkosten	Pflanzgut	€/ha	300	300
	Düngemittel	€/ha	71	81
	Pflanzenschutzmittel	€/ha	5	5
	Konservierung	€/ha	21	23
	Summe	€/ha	397	410
Arbeitsleistungenkosten	Unterhaltung Maschinen	€/ha	75	79
	Kraft- u. Schmierstoffe	€/ha	76	82
	AfA Maschinen	€/ha	118	121
	Arbeitszeitbedarf termingebunden	AKh/ha	9,9	
	Arbeitszeitbedarf nicht termingebunden	AKh/ha	2,5	2,5
	Personalkosten	€/ha	153	
	Lohnarbeit	€/ha	97	109
Summe			520	557
Arbeitsl. incl. L+V	Summe	€/ha	581	557
Gebäude	Vermögen	€/ha	3949	4513
	Unterhaltung	€/ha	21	24
	AfA	€/ha	132	150
	Summe	€/ha	153	175
Flächenkosten	Pacht	€/BP	BP	45
		2,8	€/ha	126
Sonstige	Berufsgenossenschaft	€/ha	20	20
	sonstiger allg. Betriebsaufwand	€/ha	45	45
	Summe	€/ha	65	65
Summe Kosten		€/ha	1322	1361
	dar. Arb.erl.kost.	€/ha	601	577
	inkl. LBG o. Hilfs. 20,0 €/ha	€/dt	3,4	3,1
		€/dt TM	11,3	10,2

Bei Betrachtung der Kostenabschätzung ist zu berücksichtigen, dass es im Produktionsverfahren Durchwachsene Silphie noch deutliche Optimierungsmöglichkeiten gibt. Beispielsweise könnten durch eine Direktsaat die Anlagekosten erheblich reduziert werden.

5 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

In Auswertung der Anbau-, Silier- und Gärversuche kann festgestellt werden, dass die Methanproduktion je Flächeneinheit nahezu parallel zu den Biomasseerträgen verläuft. Erwartungsgemäß verfügt jeder Standort mit seinen klimatischen und bodenspezifischen Besonderheiten über ein unterschiedliches Ertragsniveau und eine unterschiedliche Eignung für den Anbau der verschiedenen Pflanzenarten.

An allen vier Versuchsstandorten wurden die Maissorten „Doge“ und „PR38F53“ als Vergleichspflanzen angebaut. Am **Lößstandort Dornburg** erreichte die erstmalig 2005 beerntete Durchwachsene Silphie zusammen mit dem Mais „Doge“ die besten Methanerträge. Die Maissorte „PR38F53“, Topinamburkraut im mehrjährigen Anbau, Luzernegras zu Blühbeginn und in der Vollblüte, Sudangras und die Zuckerhirsen „Super Sile 18“ und „Super Sile 20“ erreichten ebenfalls hohe Methanausbeuten und -erträge.

Die Zuckerhirsen „Super Sile 15“ und „Friggo“, die Topinamburknollen sowie das Kraut des einjährig kultivierten Topinamburs erzielten dagegen zu niedrige Methanausbeuten bzw. Methanerträge, um als Koferment in Biogasanlagen wirtschaftlich eingesetzt werden zu können. Eine Alternative zur Steigerung der Methanerträge bei Topinambur wäre, Kraut und Knolle gemeinsam zu silieren und einzusetzen, dabei bereitet aber die Verschmutzung der Knolle und deren geringe TS bei der Silierung im technischen und technologischen Prozess im Reaktor große Probleme.

Die theoretisch möglichen Methanausbeuten der aus den genannten Pflanzenarten gewonnenen Silagen unterschieden sich teilweise beträchtlich vom unsilierten Pflanzenmaterial. Wenig Abweichung war bei Luzerne zu Blühbeginn und zur Vollblüte, Durchwachsener Silphie, Zuckerhirse „Super Sile 18“ und den beiden Maissorten zu verzeichnen. Negativ wirkte sich die Silierung auf die Methanwerte der Zuckerhirsensorten „Super Sile 15“, „Super Sile 20“ und „Friggo“ sowie des Topinamburkrauts im ein- und mehrjährigen Anbau aus. Positiv wirkte der Umsetzungsprozess dagegen bei Topinamburknollen.

Die Ergebnisse der der Praxis nachempfundenen Batchversuche waren mit den theoretisch berechneten Werten weitgehend vergleichbar. In den Batchversuchen lag der Methananstieg im Vergleich zu reiner Rindergülle bei Sudangras höher als bei der Maissorte „Doge“. Sudangras und die beiden Maissorten erreichten gute Ergebnisse. Wie bereits bei den theoretischen Berechnungen der Methanausbeuten der Silagen festgestellt wurde, ist die Zuckerhirse „Super Sile 20“ nur bedingt, die Zuckerhirse „Friggo“ und Topinamburkraut im einjährigen Anbau nicht für den Einsatz als Koferment zu empfehlen.

Die mit mehrjährigem Topinamburkraut, Durchwachsener Silphie und Luzernegras durchgeführten kontinuierlichen Versuche zeigten, dass nach 60 Tagen Versuchsdauer noch kein stabiler Zustand vorlag. Die Methanausbeuten waren bis dahin bei den drei Arten in etwa gleich.

Am **Vorgebirsstandort Heßberg** erreichte der mehrjährig angebaute Topinambur (Krautnutzung), insbesondere im zweiten und dritten Anbaujahr, außerordentlich hohe Erträge und übertraf im Methanertrag alle anderen Pflanzenarten. Auch die Durchwachsene Silphie wies in Heßberg ähnlich gute Ergebnisse wie am Standort Dornburg auf. An dem kühleren Standort war der Silomais „PR38F53“ dem Energiemais „Doge“ in allen Kriterien weit überlegen. Klee-gras, zu Blühbeginn beerntet, und in günstigen Jahren das wärmeliebende Sudangras erzielten gute Erträge.

In **Müllheim in der Rheinebene** übertraf der Mais alle anderen Pflanzenarten. Auch Sudangras und Zuckerhirse erreichten hohe Erträge, die allerdings großen jahresbedingten Schwankungen unterlagen. Klee-gras, Topinambur und wahrscheinlich auch die Durchwachsene Silphie, die nach der Pflanzung einging, scheinen für diesen Standort als Kofermentpflanzen ungeeignet zu sein.

Die Erträge an dem kühlen, trockenen **Vorgebirsstandort Burkersdorf** lagen aufgrund der niedrigen Bodenwertzahlen erwartungsgemäß auf niedrigerem Niveau als in den anderen Versuchsstationen. Hier könnten, neben Mais, frühe massewüchsige Hirsesorten und Luzerne-gras als Koferment in Betracht kommen.

Alle im Projekt geprüften Pflanzenarten lassen sich problemlos mit der für die Maisernte üblichen Technik ernten. In den Versuchen kam dazu bei Durchwachsener Silphie, Topinamburkraut und den Hirsearten ein Maishäcksler mit reihenungebundenem Schneidwerk (Kemperschneidwerk) zum Einsatz, für die Ernte von Luzerne- bzw. Klee-gras ein üblicher Futterernter.

Bei dem zweijährig an drei Standorten durchgeführten **Versuch zum Vergleich von Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung** nach Landsberger Gemenge und Winterfutterroggen traten deutliche Unterschiede zwischen den Jahren und Standorten auf. Im Mittel der durchgeführten Versuche übertraf der Mais das Sudangras bezüglich der Ertragshöhe. Es ist jedoch zu beachten, dass der Versuch jeweils einheitlich zur Silomaisreife beerntet wurde und das Sudangras zu diesem Zeitpunkt in der Regel die Erntereife noch nicht erreicht hatte. Insgesamt reichen die vorliegenden Ergebnisse für eine abschließende Wertung noch nicht aus.

In Auswertung der **Versuche zum Einfluss von Temperatur und Niederschlag** auf die Entwicklung von Ertrag und TS-Gehalt bei Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung ist festzustellen, dass sich die Erträge beider Fruchtarten nahezu parallel zueinander entwickeln. In den Versuchsjahren erreichten Mais und Sudangras sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung annähernd gleiche Erträge. Interessant war, dass das Sudangras den für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalt etwa zum gleichen Zeitpunkt erreichte wie der Mais. Im Gegensatz zum Silomais behielt das Sudangras diesen Wert über nahezu sechs Wochen bis Ende Oktober bei. Bei Bestätigung der Ergebnisse in weiteren Versuchen könnten durch den Anbau von Sudangras die Erntezeitspanne deutlich verlängert und somit die Arbeitsspitzen bei der Silomaisernte abgebaut werden.

Auf Basis der durchgeführten **Versuche zur Wirkung und Verträglichkeit von Herbiziden** in Durchwachsener Silphie und Topinambur ist es möglich, vorläufige Empfehlungen für die Zulassung bzw. die Genehmigung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zu geben. Die

Versuchsergebnisse bilden gleichzeitig die Grundlage für die Entwicklung praxistauglicher Anbauverfahren.

Im Ergebnis einer ersten **ökonomischen Abschätzung** ist festzustellen, dass Sudangras und Zuckerhirse bezüglich der Herstellungskosten mit Silomais konkurrieren können, sofern sich in der Praxis die etwas höheren Biomasseerträge stabil realisieren lassen. Gleiches gilt auch für die Durchwachsene Silphie, bei der das Verfahren der Bestandesetablierung entscheidenden Einfluss auf die Produktionskosten hat. Wenn es gelingt, durch Direktsaat in der Praxis ausgeglichene Bestände zu ermöglichen, sinken die Herstellungskosten deutlich ab. Für eine exakte Kalkulation der Produktionskosten und vor allem des gesamten Produktionsprozesses, einschließlich der Silierung, sind weitere Untersuchungen im Praxismaßstab erforderlich.

Generell ist einzuschätzen, dass von den untersuchten Fruchtarten vor allem die Hirsearten und auch die Durchwachsene Silphie gute Chancen für einen Anbau als Koferment in Biogasanlagen haben. Gleichzeitig gilt es hier jedoch, offene Fragen hinsichtlich Anbau und Erstverarbeitung zu klären, um eine sichere Einführung in die landwirtschaftliche Praxis zu gewährleisten.

6 Literatur

DLG-Futterwerttabelle, DLG-Verlags-GmbH, Eschborner Landstrasse 122, 60489 Frankfurt am Main, 1997

Handreichung Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe „Biogasgewinnung und –nutzung“, Gülzow, 2005

Forschungsbericht W. Neumerkel, B. Märtin, Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) - eine neue Futterpflanze, Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde Berlin 26 (1982) 4, S. 261-271

Dissertation W. Neumerkel, Botanik, Anbau und Futterwert der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg