

Abschlussbericht

Optimierung des Anbaus von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung unter Thüringer Standortbedingungen

Projekt-Nr. 94.11

Langtitel: Optimierung des Anbaus von Energiepflanzen für die Biogaserzeugung unter Thüringer Standortbedingungen

Kurztitel: Kosubstrate für die Biogaserzeugung

Projektleiter: Dr. Armin Vetter

Abteilung: Pflanzenproduktion und Agrarökologie

Abteilungsleiter: stellv. Dr. Martin Farack

Laufzeit: 01/2010 bis 12/2012

Auftraggeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten,
Umwelt und Naturschutz

Bearbeiter: Andrea Biertümpfel
Roland Bischof
Dr. Joachim Degner
Dr. Walter Peyker
Dr. Gerd Reinhold
Evelyn Schreiber
Dr. Armin Vetter
Dr. Maria Wagner

April 2013


Dr. Armin Vetter
(Stellv. Präsident und Projektleiter)

Präambel

Das Ziel und der Inhalt des Projektes war die Erarbeitung von Anbauempfehlungen für die Produktion von Energiepflanzen zur Biogasproduktion unter Thüringer Standortbedingungen unter Berücksichtigung fruchtfolgetechnischer, arbeits- und betriebswirtschaftlicher Aspekte. Zeitgleich wurden von der TLL zahlreiche Drittmittelprojekte zu diesem Arbeitsschwerpunkt bearbeitet:

- Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands
01.02.09 – 28.02.2013 PL: Dr. Vetter PBA: C. Strauß u.a.
01.04.13 – 30.11.2015
- Optimierung des Anbauverfahrens Ganzpflanzengetreide, incl. Arten- und Sortenmischungen für die Biogasproduktion
15.09.08 – 29.02.2012 PL: Dr. Vetter PBA: R. Bischof
01.03.12 – 31.12.2014 PL: A. Biertümpfel PBA: R. Bischof
- Optimierung der Biomassebereitstellung und Vergärung in Biogasanlagen von repräsentativen Dauergrünlandtypen
01.05.10 – 30.06.2013 PL: Dr. Hochberg PBA: F. Schmidt
- Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanzen durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens
Teilvorhaben 2: Optimierung des Anbauverfahrens und Bereitstellung von Selektionsmaterial
01.04.10 – 31.03.2013 PL: A. Biertümpfel PBA: M. Conrad
- Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und –hybriden als Energiepflanze.
Teilprojekt 5: Ökologische Auswirkungen des Sorghumanbaus
01.05.11 – 30.04.2014 PL: Dr. S. Knoblauch PBA: Dr. M. Wagner

Die Projekte wurden und werden von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe im Auftrag des BMELV gefördert. Diese Projekte werden bundesweit von verschiedenen Einrichtungen durchgeführt, sodass eine gute Standortrepräsentanz gegeben ist. Gleichzeitig sind die Ergebnisse der Thüringer Standorte bundesweit vergleichbar und damit besser interpretierbar.

Das Projekt „Kosubstrate für die Biogasproduktion“ hatte die Aufgabe, die für Thüringer Standortverhältnisse nicht über die Drittmittelangebote zu beantworteten Fragestellungen, d. h. eventuell auftretende Lücken, zu ergänzen. Die Ergebnisse sollten über alle Projekte in einer Thüringer Broschüre zum Energiepflanzenanbau zusammengefasst werden.

Im Laufe der Projektbearbeitung ergab sich die Möglichkeit, über die FNR im Rahmen des EVA-Projektes eine Broschüre „Energiepflanzen für Biogasanlagen“ für Thüringen zu erstellen und zu finanzieren. In dieser Broschüre (6/2012) flossen alle Ergebnisse aus Thüringer Versuchen für die Anbauempfehlungen ein. Die Broschüre

wurde von allen Projektbearbeitern erstellt, sodass eine eigene „Thüringer Broschüre“ eine Doppelung mit unnötigem zusätzlichen Aufwand dargestellt hätte.

In der vorliegenden Broschüre wurden einige Fragestellungen, dies betrifft die Sortenempfehlungen für Mais und Ackerfutter, die Empfehlungen zu Ganzpflanzengetreideprodukten und zur Gärrestverwertung in der Fruchtfolge, nicht umfassend dargestellt, allerdings liegen dazu nicht entsprechende Ausarbeitungen als Abschlussbericht vor.

Die in der Broschüre vorgelegte betriebswirtschaftliche Bewertung des Energiepflanzenanbaus erfolgte bundesweit durch die Universität Gießen. Die dabei verwendete Methode stimmt methodisch nicht mit den in der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft erarbeiteten Richtwerten und Leitlinien für eine „effiziente und umweltverträgliche Produktion von ...“, z. B. Mais, Sortenwesen etc., überein. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu den Thüringer Richtwerten zu gewährleisten, aber gleichzeitig den personellen Aufwand im vertretbaren Rahmen zu halten, erfolgte eine Berechnung des besonders in der Diskussion befindlichen „Zweikulturnutzungssystems“ mit der für Thüringen verbindlichen Methode.

Die Bewertung der Bereitstellungskette „Zuckerrübe für Biogas“ ist über einen TLL-Standpunkt (8/2013) geplant. Erste Ergebnisse wurden von Dr. Degner anlässlich der Tagung des Kuratoriums für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau Ochsenfurt (Altenburg, 18.01.2012) vorgestellt.

Gliederung

1. Zusammenfassung
(Dr. A. Vetter, A. Biertümpfel)

2. Artenempfehlung Ganzpflanzengetreide
(E. Schreiber, R. Bischof)

3. Sortenempfehlung Mais und Ackerfutter
(Dr. W. Peyker)

4. Bewertung der Zweikulturnutzung
(Dr. J. Degner)

5. Bewertung von Zuckerrüben für die Biogasproduktion
(Dr. J. Degner)

6. Alternativen zum Mais – Vergleichende
Betrachtung von alternativen Energiepflanzen
(A. Biertümpfel, Dr. M. Wagner)

7. Gärrestverwertung in Thüringen (Merkblatt)
(Dr. G. Reinhold)

Anlage:

Broschüre „Energiepflanzen für Biogas-Anlagen – Thüringen“
(Autorenkollektiv; Leitung C. Strauß)

1. Zusammenfassung

Der Anbau von Energiepflanzen für die Erzeugung von Biogas hat in Deutschland, neben der Produktion von Ölsaaten für Biokraftstoffe, die größte Bedeutung. Auch in Thüringen zeichnete sich in den letzten Jahren eine sehr dynamische Entwicklung der Biogasproduktion ab. Die Anlagen befinden sich vorrangig an den klassischen Standorten der Tierproduktion und nutzen intensiv die anfallenden Wirtschaftsdünger unter Zugabe von Energiepflanzen als Kosubstrat, die im Betrieb bzw. der Region produziert werden.

Ziel und Inhalt des Projektes war die Erarbeitung von Anbauempfehlungen für die Produktion von Energiepflanzen zur Biogasproduktion für die Thüringer Anbaugelände, d. h. Vorgebirgs-lagen, Löss-Übergangslagen und Löss-Gelände unter Berücksichtigung fruchtfolge-technischer, arbeits- und betriebswirtschaftlicher Aspekte. Dabei wird auf Ergebnisse des seit 2004 bundesweiten, von der TLL koordinierten Drittmittelprojektes „EVA“ zurückgegriffen, d. h. mit dem Projekt sollen Lücken in Bezug auf die Produktion unter Thüringer Standortbedingungen geschlossen werden, die in der Aufgabenstellung des EVA-Projektes nicht aufgeführt sind.

Die Aufgabenstellung beinhaltete deshalb:

- Untersuchungen zur Anbautechnik für weitgehend unbekannte Energiepflanzen,
- Sortenempfehlungen für bekannte Energiepflanzen wie Mais, Ganzpflanzengetreide oder Ackerfutter,
- Bewertung des Einsatzes von Zuckerrüben in Biogasanlagen,
- Empfehlungen zum Misanbau mit Schwerpunkt Ganzpflanzengetreide,
- Empfehlungen zum Zwischenfruchtanbau mit Schwerpunkt Winterzwischenfrüchte,
- Ermittlung der günstigsten Kombination zwischen Erst- und Zweitfrucht,
- Einordnung in die Fruchtfolge inklusive Empfehlungen zur Gärrestverwertung über das aufgeführte EVA-Projekt.

Im Rahmen des Projektes kam eine Reihe von Versuchen zur Anlage und zur Auswertung. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Durchgeführte Versuche 2010 bis 2012

Versuchsfrage	Versuchsorte	Laufzeit	Prüfglieder
Anbau von Hirse in Haupt- und Zweitfruchtstellung im Vergleich zu Mais	Dornburg Heßberg Kirchengel	2007 bis 2010	6
Zweitfruchtversuch Mais nach Ganzpflanzengetreide	Dornburg	2010 bis 2012	8
Anbaueignung und Ertrag von Sommer- und Winterzwischenfrüchten	Heßberg Kirchengel	2008 bis 2011	13
Anbau von Sommergerste nach verschiedenen Vorfrüchten	Heßberg Kirchengel	2008 bis 2011	5
Anbaueignung und Erntetermine Weyrichknöterich	Dornburg	2007 bis 2011	3
Anbaueignung und Erntetermine Sida	Dornburg	2007 bis 2010	3
Anbaueignung und Ertrag von Igniscum-Sorten	Dornburg	seit 2010	2
Anbaueignung und Ertrag von Szarvasgras	Dornburg	seit 2011	2

Des Weiteren wurden die Ergebnisse der Sortenversuche zu Silomais in die Betrachtungen einbezogen, da der Silomais auch in Thüringen das dominierende Kosubstrat in den Biogasanlagen ist. Für den Energiepflanzenanbau werden für die Lössgebiete frühe und mittelfrühe Sorten, für die Verwitterungsstandorte der Vorgebirgslagen nur frühe Sorten empfohlen.

Als Beispiel für die im Projekt erstellten Ergebnisse werden die Versuche zum Anbau von Sommergerste nach Winterzwischenfrüchten, Ganzpflanzengetreide und Getreide in Hauptfruchtstellung aufgeführt. Diese Kombinationen sind in südeuropäischen Ländern durchaus in der landwirtschaftlichen Praxis vorzufinden und werden daher vor dem Hintergrund des sich abzeichnenden Klimawandels auch für Deutschland diskutiert. In den Versuchen wurden über drei Jahre in Heßberg (Verwitterungsstandort) und Kirchengel (Lössstandort) die Varianten Sommergerste zum Drusch nach Futterroggen und Landsberger Gemenge, Sommergerste als Ganzpflanze zur Silierung nach Ganzpflanze (Silage) Triticale sowie nach gedroschener Wintergerste geprüft. Mit den unterschiedlichen „Vorfrüchten“ für die Sommergerste wurde die Aussaat im Extremfall bis in den Sommer verschoben. Als Vergleich diente der Sommergerstenanbau in klassischer Hauptfruchtstellung. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

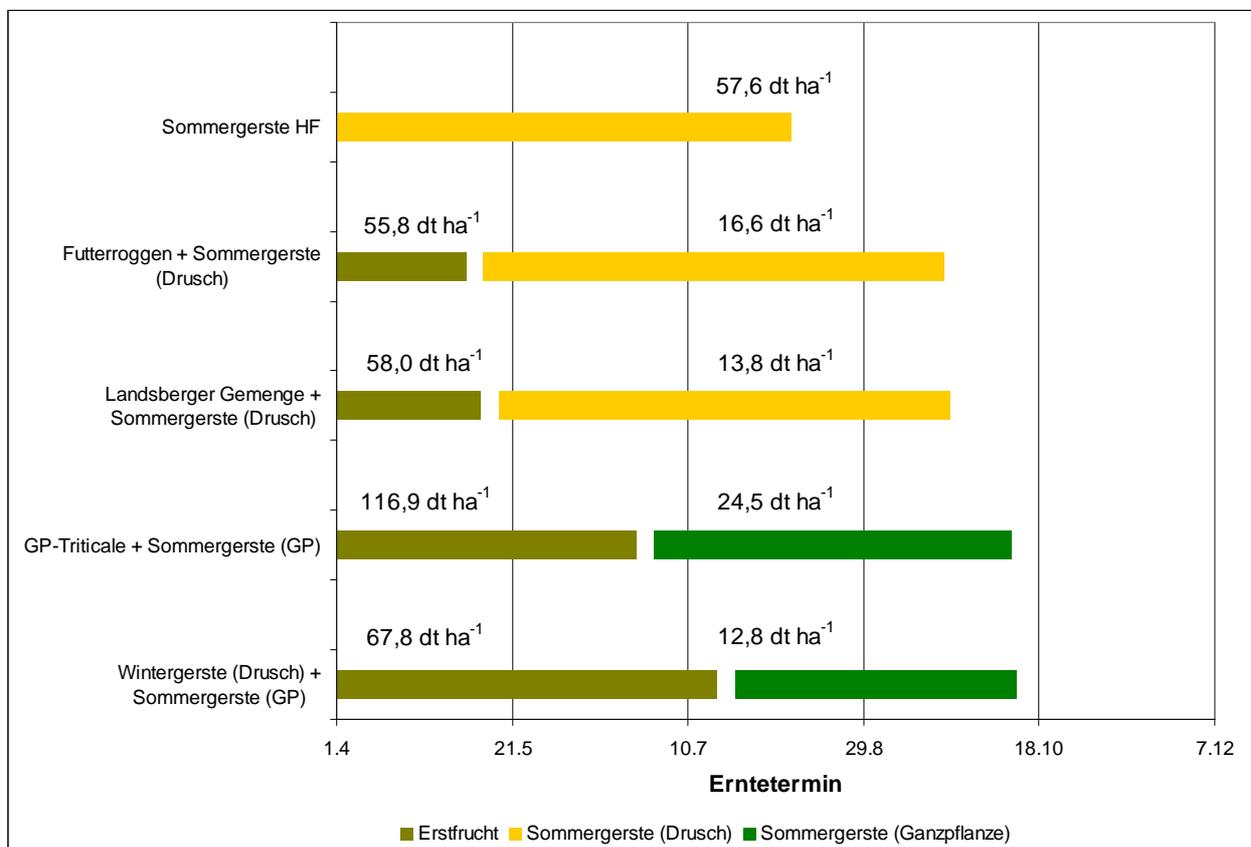


Abbildung 1: Erträge verschiedener Kombinationen zwischen Winterungen (Ganzpflanze) und nachfolgender Sommergerste (Mittelwert 3 Jahre, 2 Standorte)

Die Erträge der Winterungen bewegten sich unter Thüringer Standortbedingungen auf einem typischen Niveau und wiesen die erwarteten jahreszeitlichen und standortabhängigen Schwankungen auf.

Die nachfolgende Sommergerste konnte sowohl bei den Korn- als auch bei den Ganzpflanzenerträgen absolut nicht befriedigen. Vor allem die erheblichen Ertragsdepressionen in Kombination mit der Vorfrucht Futterroggen von ca. 70 % zeigen, dass diese Anbausysteme jetzt und sicher auch in naher Zukunft keine Option unter Thüringer Standortbedingungen darstellen. Zudem waren extreme Jahresschwankungen bei der Zweitfrucht Sommergerste

sowohl bei den Varianten mit Korn- als auch bei den Varianten als Ganzpflanze zu verzeichnen.



Abbildung 2: Regionalbroschüre Thüringen

Die aufgeführten Ergebnisse wurden neben regionalspezifischen Aussagen und Empfehlungen zum Anbau verschiedener Biogaspflanzen, wie z. B. Mais, Ganzpflanzengetreide, Sorghum, Zuckerrübe sowie alternativer Energiepflanzen oder auch Zwischenfrüchten und Blühmischungen, im Kontext mit den EVA-Projektergebnissen in die Broschüre „Energiepflanzen für Biogasanlagen – Thüringen“ eingebracht. Auch Aussagen zur effizienten Nutzung von Biogasgülle und Gärresten sowie Aspekte des Humushaushaltes und des Gewässerschutzes fanden Eingang.

Betrachtungen zu Silierung und Gasausbeuten sowie zur Ökonomie des Energiepflanzenanbaus vervollständigten die Broschüre.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Versuche wurden zudem zum jährlichen Dornburger Energiepflanzenfeldtag bzw. den Feldtagen der einzelnen Versuchsstationen zu Mais und Energiepflanzen vorgestellt. Zahlreiche Teilaspekte fanden auch Eingang in die Veranstaltungsreihe „Fachgespräch NaWaRo und Energiepflanzen“ und sind neben weiteren Veröffentlichungen unter www.tll.de/ainfo der Öffentlichkeit zugänglich.

2. Anbauempfehlungen für Ganzpflanzengetreide

Artenempfehlung - Ganzpflanzengetreide als Koferment zur Biogasproduktion

Bei ausschließlicher Betrachtung der Trockenmasse- sowie Methanerträge je Hektar ist **Wintertriticale** die empfehlenswerteste Art für die Erzeugung von Biomasse. Wie Abbildungen 3 und 4 zeigen, bringt er sowohl auf Löss- als auch auf Verwitterungsstandorten in 70 % der Versuche die höchsten Erträge.

Lediglich bei geringem Wasserangebot im Mai (Abb. 5 und 6) konnte auf den flachgründigeren Standorten (Burkersdorf und Kirchengel 2008) **Wintergerste** die höchsten Methanerträge realisieren. Das gleiche gilt für den Versuch im Jahr 2011 in Haufeld. In den LSV-Ergebnissen zur Körnerproduktion (Abb. 7 und 8) zeigt sich eine ähnliche Vorzüglichkeit von Wintergerste in Kirchengel und vor allem in Burkersdorf. 2007 erreichte Wintergerste zwar in Burkersdorf beim Ganzpflanzenertrag auch Spitzenerträge, allerdings ist das Ergebnis kritisch zu betrachten, da der TS-Gehalt der erst im Stadium der frühen Teigreife geernteten Gerste mit 43 % deutlich über dem der anderen Winterungen lag.

Winterroggen erwies sich insbesondere bei geringem Wasserangebot (Burkersdorf und Kirchengel 2008; Haufeld 2011) als ertragsstärkstes Ganzpflanzengetreide. Auf Grund der geringeren Methanausbeute lag er aber im Methanertrag nur im letztgenannten Versuch an der Spitze des Sortiments (Abb. 9 und 10). In Haufeld ist Winterroggen auch bei der Körnerproduktion (Abb. 7) als ertragsstärkste Art auffällig.

Für **Wintertriticale** sprechen neben seiner Ertragsstärke auch die ausreichende Zahl leistungsstarker Sorten mit guter Winterfestigkeit sowie die im Vergleich zu Wintergerste und -roggen bessere Spätsaatverträglichkeit. Vom Bundessortenamt werden seit 2012 neue Wintertriticalestämme für die Verwertungsrichtung „Silonutzung“ geprüft und zugelassen, so dass ein Zuchtfortschritt zu erwarten ist. Nachteilig an Wintertriticale ist seine starke Anfälligkeit für Fußkrankheiten, so dass dieser fruchtfolgetechnisch genauso ungünstig wie Weizen zu bewerten ist. Das ist besonders in Regionen mit hohem Weizenanteil in der Fruchtfolge zu beachten. Außerdem neigt die Art vor allem unter lang anhaltend geschlossener Schneedecke zu Schneeschimmel- und Typhulabefall.

Wintergerste und Winterroggen erreichen zwar nur in Trockenlagen und -jahren eine gewisse Ertragsüberlegenheit, weisen aber andere Vorzüge auf. Wintergerste erreicht etwa 10 bis 14 Tage früher als Wintertriticale die Siloreife. Der frühere Erntetermin bringt eine zeitigere Substratverfügbarkeit und Entzerrung der Arbeitsspitzen zur Ernte mit sich. Von Vorteil ist auch ihre Toleranz gegenüber Fußkrankheiten, die besonders in weizenlastigen Fruchtfolgen von Bedeutung sein kann. Als unvorteilhaft sind ihre geringere Winter- und Standfestigkeit sowie die stärkere Anfälligkeit für insektenübertragbare und bodenbürtige Viren anzusehen. Für Winterroggen spricht vor allem seine unübertroffene Winterfestigkeit. Während z. B. 2012 in Thüringen fast 8 000 Hektar Wintergerste wegen Auswinterung umgebrochen wurden, waren es bei Winterroggen nur 200 Hektar. So trägt der Roggenanbau vor allem in schneearmen Regionen, in Kaltluftsenken und auf Kuppen zur Ertragssicherheit bei. Außerdem ist Roggen bezüglich Fußkrankheiten eine Gesundheitsfrucht. Zu achten ist aber auf eine Absicherung des Ertrages durch Halmstabilisatoren, um Lager und eine Verschmutzung des Substrates durch Erde zu verhindern. Wie Wintertriticale wird auch Winterroggen bezüglich der neuen Nutzungsrichtung züchterisch bearbeitet, so dass auch hier neue Sorten für die Silonutzung mit höheren Erträgen und anderen verbesserten wertgebenden Eigenschaften zu erwarten sind.

Da **Winterweizen** in Thüringer Fruchtfolgen bereits einen Anteil von ca. 38 % hat, sollte zur Auflockerung der Fruchtfolge, Brechung von Arbeitsspitzen und Minderung des Befalls mit Krankheiten (vor allem Fußkrankheiten und DTR) auf den Anbau von Winterweizen zur Biogasgewinnung verzichtet werden. Versuchswise Anbau von Weizensorten auf den Löss-Standorten Bernburg (Magdeburger Börde) und Poppenburg (Hildesheimer Börde) hat zudem gezeigt, dass der Weizen dort dem Roggen und Triticale ertraglich nicht überlegen war.

Wie zu erwarten, brachte das Sommergetreide **Hafer** in seiner kurzen Vegetationszeit deutlich niedrigere Erträge als die Winterungen. Allerdings müssen die zur Verfügung stehenden Versuchsorte, mit Ausnahme von Dornburg 2009, als ohnehin wenig geeignet für die Hafererzeugung angesehen werden. Die Art stellt zwar nur geringe Ansprüche an den Boden, ist aber auf kontinuierliche Wasserversorgung und/oder gute Wasserhaltekapazität des Bodens angewiesen. Das bewiesen auch die Landessortenversuche Hafer zur Korngewinnung, bei denen im sächsischen Mittelgebirgsland (Forchheim und Christgrün mit mittleren jährlichen Niederschlagsmengen von 879 bzw. 722 mm) die Erträge deutlich über jenen der beiden Thüringer Versuchsorte Burkersdorf und Kirchengel (mittlere jährliche Niederschläge 623 bzw. 556 mm) lagen, wo auch die Versuche zur Ganzpflanzenenergieerzeugung von Hafer standen (Tab. 2).

Tabelle 2: Kornertrag LSV Hafer 2009 – 2012 Sortimentsmittel Stufe 2*

Kirchengel (TH)	Burkersdorf	Christgrün (SN)	Forchheim (SN)
63,8 dt/ha	53,6 dt/ha	76 dt/ha	84,5

* mit Fungizidbehandlung bei 86 % TS

Auf Verwitterungsstandorten des Mittelgebirgsvorlandes mit guter Wasserversorgung, wo Wintergerste von Auswinterung bedroht ist und unter lang anhaltender Schneedecke häufig unter Fusariumbefall leidet (ebenso wie Wintertriticale), kann Hafer durchaus eine Alternative für die neue Verwertungsrichtung sein, zumal er einen Beitrag zur Fruchtartendiversität und Bodenfruchtbarkeit leistet. Außerdem trägt er als Sommergetreide zur Entzerrung von Arbeitsspitzen bei, unterbricht die „grüne Brücke“ für Krankheiten, mindert Fußkrankheitsbefall und ermöglicht nach Ernte der Vorfrucht die Bekämpfung von Problemunkräutern und Ungräsern. Wichtig für ansprechende Hafererträge ist eine möglichst frühe Saat. Sie ist gleichzeitig eine wirksame Prophylaxe gegen Virus- und Fritfliegenbefall. Halmstabilisatoreinsatz kann zur Absicherung der Strohstabilität durchaus sinnvoll sein.

Sortenwahl innerhalb der Arten

Von 2007 - 2009 wurde in der TLL ein Sortenprüfkonzept für Ganzpflanzengetreide erarbeitet und erprobt. Das Konzept, das dem derzeitigen Prüfungsmodus in den „Wertprüfungen Silonutzung“ des BSA ähnelt, erwies sich insgesamt als brauchbar. Es konnten Sortenunterschiede im Trockenmasseertrag festgestellt werden. Eine Vorauswahl der Sorten an Hand der LSV-Ergebnisse zur Körnernutzung, vor allem bezüglich der ertragssichernden Merkmale (Winterfestigkeit, Standfestigkeit, Blattgesundheit) war zweckmäßig. Die aufwändige Inhaltsstofffassung zur Berechnung der Methanerträge anhand der einfachen Weenderanalyse bot für die Sortenwahl keine Informationen, die über die Ermittlung des Trockenmasseertrages hinausgingen, so dass es genügen sollte, neben Wachstumsbeobachtungen, den Grünmasseertrag und Trockensubstanzgehalt der Prüfglieder zu ermitteln.

Bei Triticale lieferten die **langstrohigen Wintertriticalesorten** die höchsten Trockenmasseerträge. Für die kurzstrohigen Sorten spricht aber eine größere Anbausicherheit hinsichtlich der Standfestigkeit. 2012 wurden zwei neue Sorten für die Verwertungsrichtung „Silonutzung“ vom BSA zugelassen: PZO Balu und HYT Prime, die jedoch noch nicht auf den Löss- bzw. V-Standorten Thüringens geprüft wurden. 2013 stehen insgesamt 5 Stämme in der Wertprüfungen (WP), so dass weiterer Zuchtfortschritt zu erwarten ist.

Bezüglich des Sortentyps erwiesen sich die geprüften **mehrzeiligen Wintergerstensorten** im Vergleich zu den Zweizeiligen als ertragsstärker. Das gilt auch für die Verwitterungsstandorte, auf denen in den LSV zur Körnernutzung die zweizeiligen Sorten den mehrzeiligen ebenbürtig sind. Wertprüfungen zu Wintergerste für „Silonutzung“ wurden bis jetzt nicht angelegt und dem entsprechend auch keine Sorten für diese Nutzungsrichtung zugelassen.

Die bei Körnernutzung zu beobachtende deutliche Ertragsüberlegenheit der Hybridroggensorten war in den Ganzpflanzenroggenversuchen nicht zu erkennen. Da bei Hybriden höhere Saatgutpreise verlangt werden, besitzen **Populationsroggensorten** einen gewissen ökonomischen Vorteil. Die Versuchsergebnisse geben keinen Hinweis darauf, dass Roggensorten mit größerer Pflanzenlänge höhere Biomasseerträge liefern. So war 2007 die Kurzstrohhybride Festus die ertragsschwächste, während 2008 der kurze Ballistic zu den besten Sorten gehört. Die Grünschnittroggen Vitallo und Protector wurden in den Versuchen zum gleichen Zeitpunkt wie das Ganzpflanzengetreide geerntet (ES 71-75) mit einem TS-Gehalt von durchschnittlich 39 % und nicht wie für Futterroggen sonst üblich zum Zeitpunkt des Grannenspitzens.

Zu diesem Erntetermin waren sie den für Körnernutzung gezüchteten Sorten im Trockenmasseertrag etwas unterlegen. Ihr größtes Handicap war aber die geringe Standfestigkeit. 2012 erfolgte die Zulassung von vier neue Sorten für die Verwertungsrichtung „Silonutzung“ durch das BSA - Generator, KWS Progras, SU Drive, SU Phönix – in den Thüringer Versuchen wurden diese Sorten noch nicht geprüft.

Unter den Hafersorten sind die **leistungsstarken Futterhafer** bei der Biomasseerzeugung zu favorisieren, während die Schälhafer (Ährentypen) ungeeignet sind.

Werden **neue Ergebnisse zur Sortenwahl** gewünscht, so wird man gezwungen sein entsprechende Versuche anzulegen. Dabei wäre über eine experimentelle Prüfung im Labor (Batch-Versuche) nachzudenken, da Inhaltsstoffuntersuchungen kombiniert mit Berechnungen nach Weenderanalyse wenig Erkenntnisse zu Qualitätsunterschieden des Substrats (CH₄-Ausbeute) brachten. Die von 2007 - 2009 ermittelten Ertragsergebnisse sind als veraltet zu betrachten, da in den letzten drei Jahren sowohl neue Sorten zur Körner- als auch Silonutzung vom Bundessortenamt zugelassen wurden. Insgesamt waren es 7 Winterroggen-, 6 Wintertriticale- und 27 Wintergerstensorten.

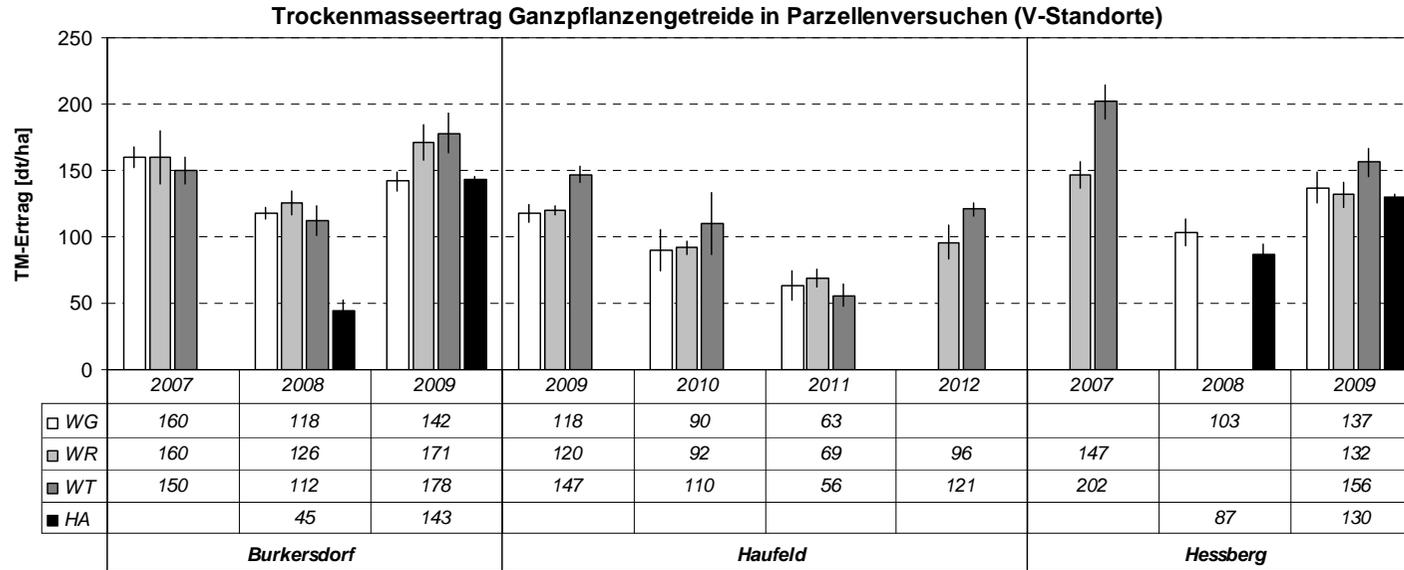


Abbildung 3

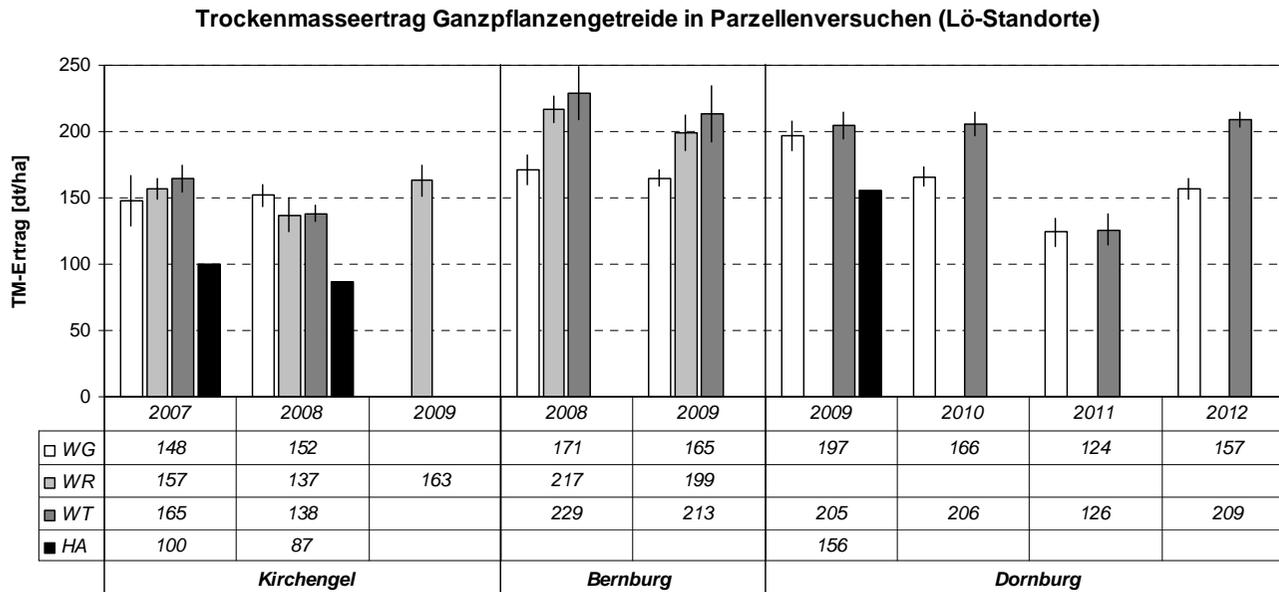


Abbildung 4

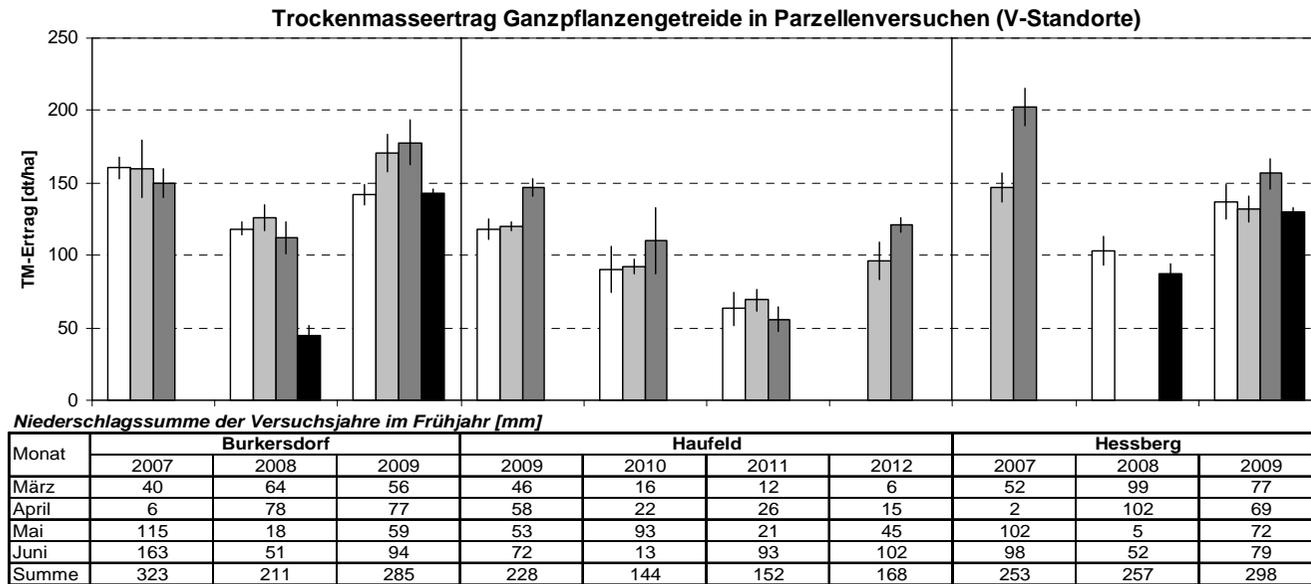


Abbildung 5

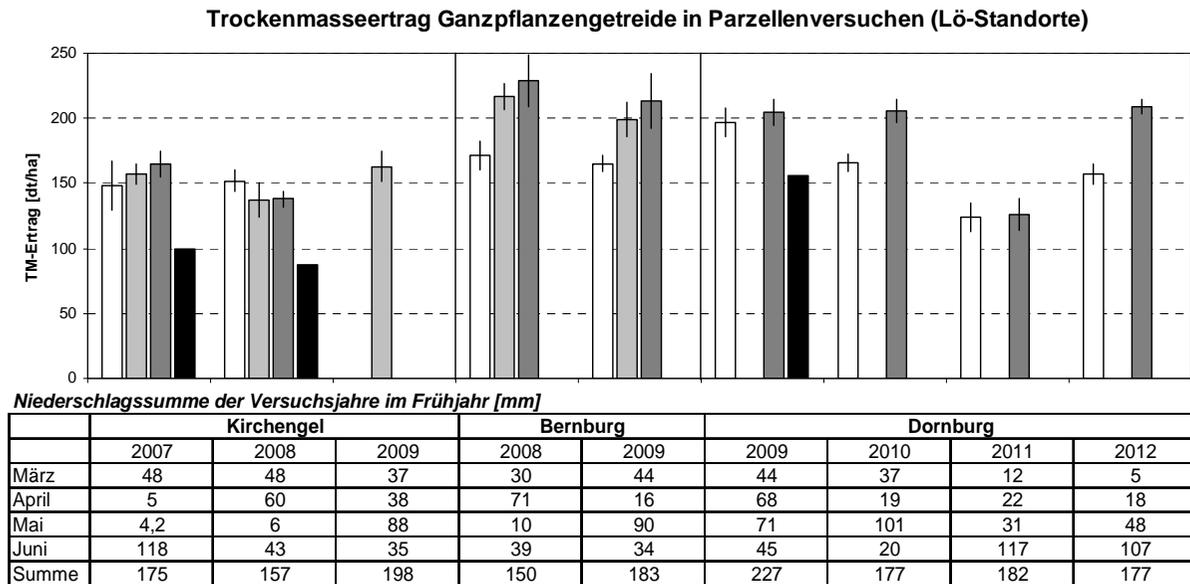
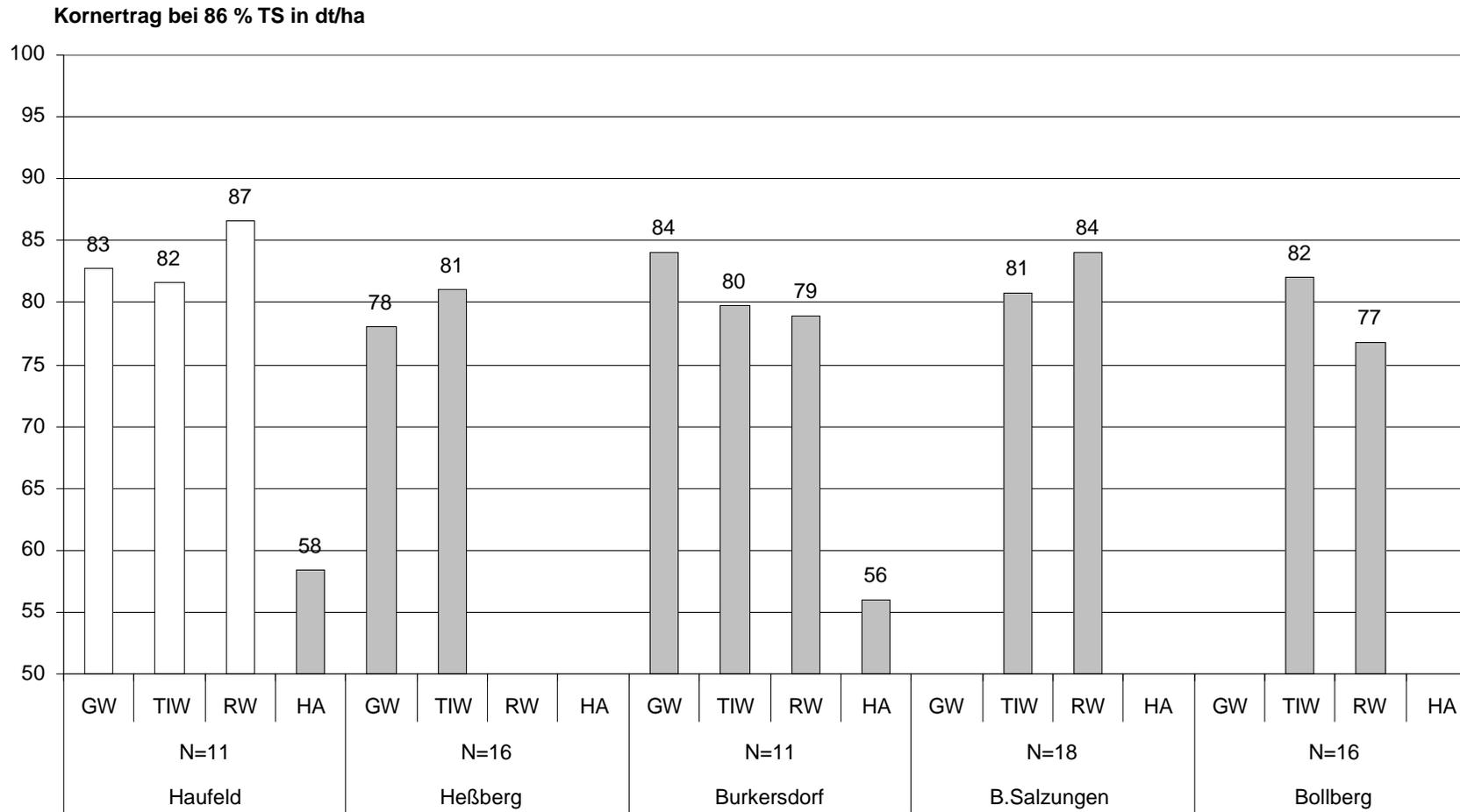


Abbildung 6



Bodenart; Ackerzahl; langjährige Durchschnittstemperatur in °C und Niederschlagssumme in mm

Berglehm-Rendzina- Löss-Fahlerde 31-68; 7,0°C; 635 mm	Bergton-Staugley-Kies-Ranker, 43; 7,1 °C; 760 mm	Berglehm-Braunerde-Staugley 36; 7,0°C; 642 mm	Bergsalm-Braunerde 32; 8,1 °C; 586 mm	Berglöss-Fleckenstaugley 31; 7,6°C; 596 mm
--	---	--	--	---

Abbildung 7: Ergebnisse der LSV (Körnernutzung) 1994 - 2012 (orthogonale Vergleiche auf V-Standorten) - Mittel der LSV Sortimente Wintergerste (GW), Wintertriticale (TIW), Winterroggen (RW) und Sommerhafer (HA)

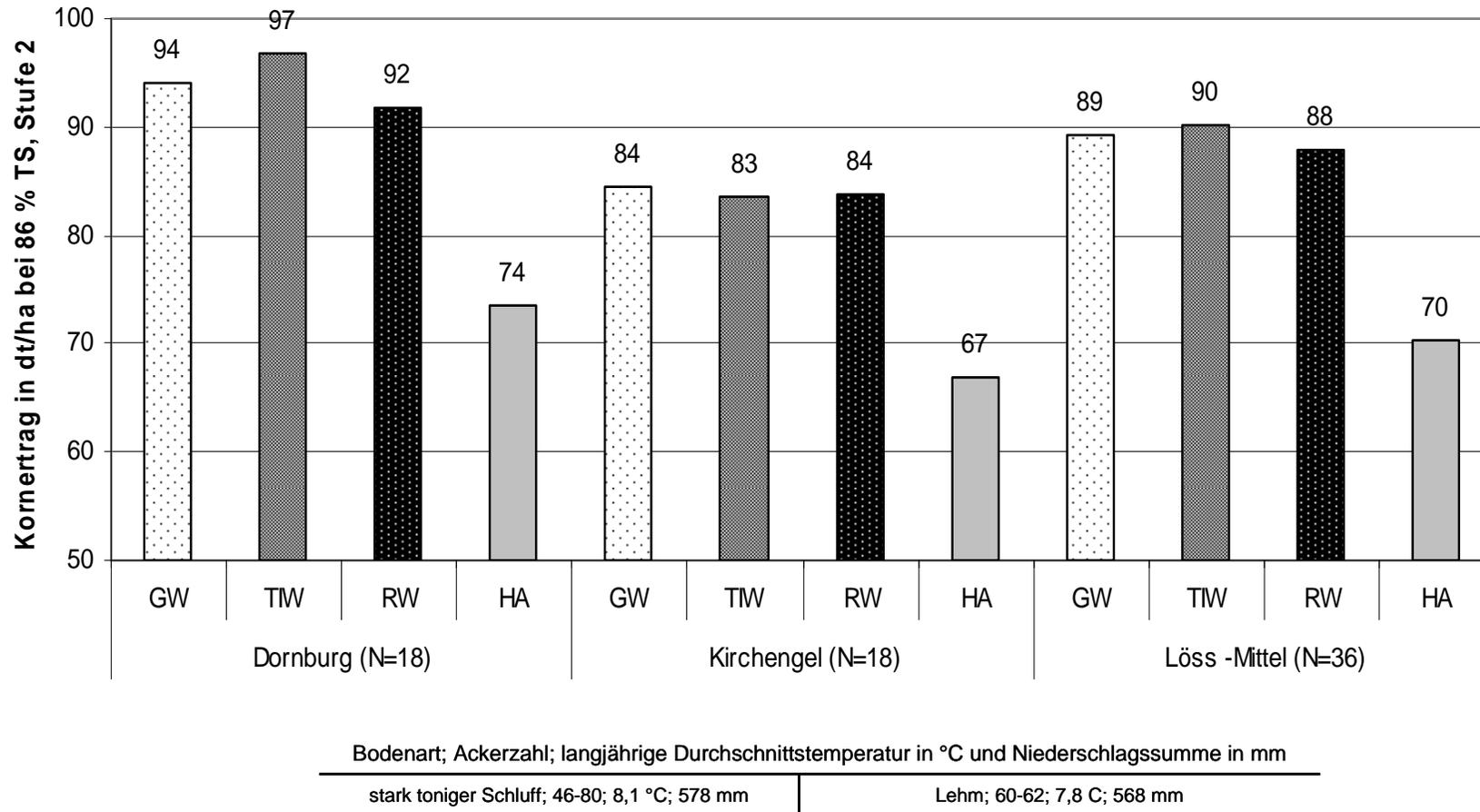
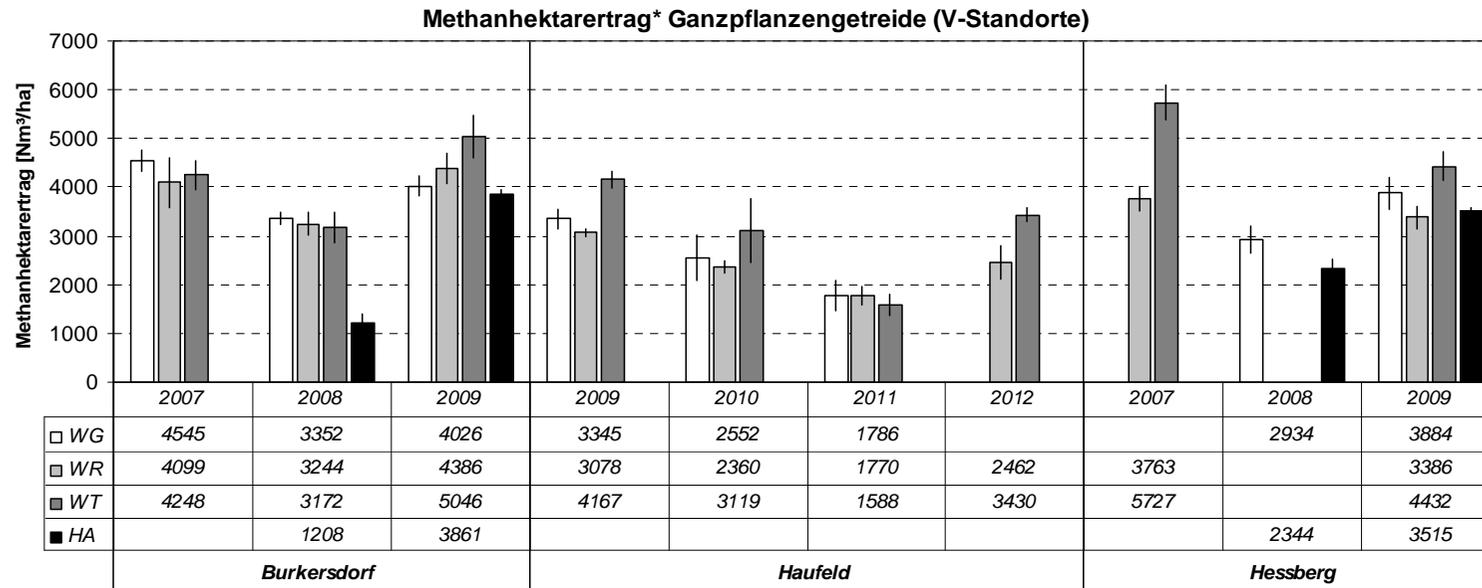
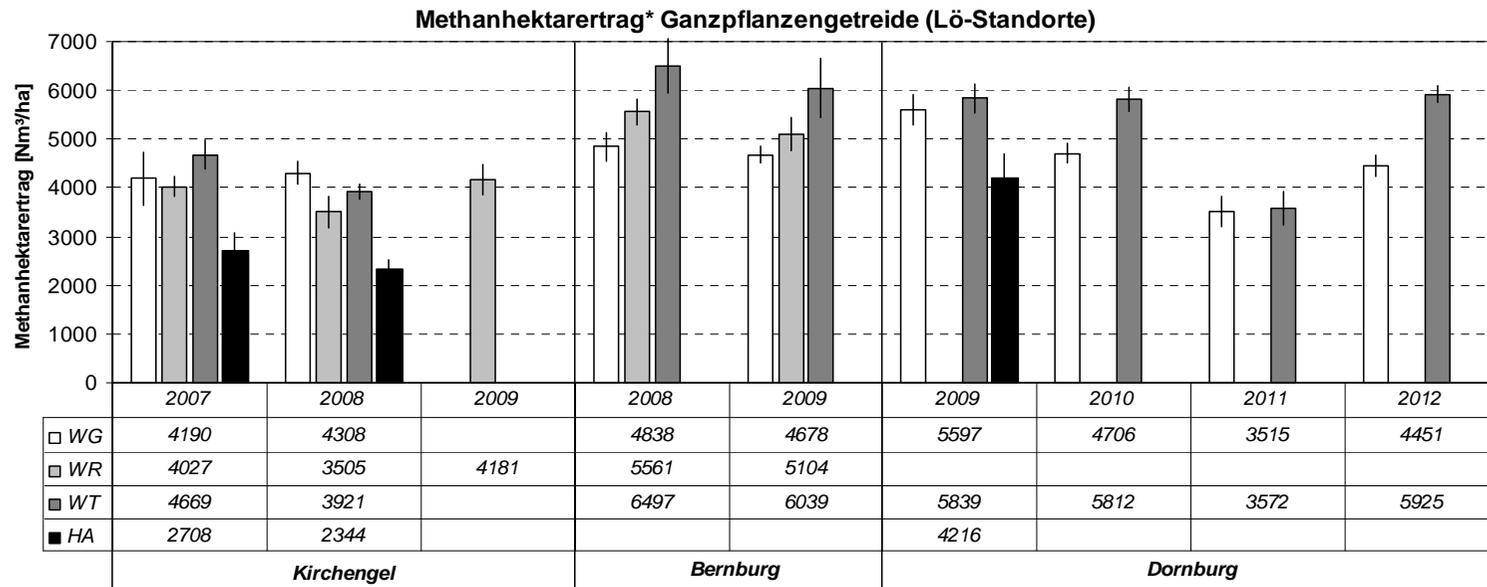


Abbildung 8: Ergebnisse der LSV (Körnernutzung) 1994 - 2012 (orthogonale Vergleiche auf Lö-Standorten) - Mittel der LSV Sortimente Wintergerste (GW), Wintertriticale (TIW), Winterroggen (RW) und Sommerhafer (HA)



* berechnet anhand der TM-Erträge aus Parzellenversuchen, CH₄-Ausbeuten der Datenbank des ATB (Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim) unter Annahme von 10% Silierverslust

Abbildung 9



* berechnet anhand der TM-Erträge aus Parzellenversuchen, CH₄-Ausbeuten der Datenbank des ATB (Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim) unter Annahme von 10% Silierverslust

Abbildung 10

3. Sortenempfehlungen für Mais und Ackerfutter

Sortenempfehlungen Mais (Aussaat 2013)

Reifegruppe	Anbaubereich	
	Löss-Standorte	Verwitterungsstandorte
früh	Ambrosini Kalvin Pralinia*	Ambrosini Ayrro* Kalvin NK Falkone Pralinia*
mittelfrüh	Agro Yoko Amaretto Barros Fernandez Grosso Jessy	-

Mischungs- und Sortenempfehlungen mehrschnittiges Ackerfutter

(aus Kostengründen ausschließlich Empfehlung für mehrjährige Mischungen)

Anbaubereich Löss-Standorte (Futterpflanzenanbaubereich (AG) 6)

Mischung Nr.	3.5.	3.6.	3.7.	3.8.	3.9.	3.10.
Art	Saatmenge (kg/ha)					
Wiesenschwingel			6	6	5	8
Wiesenlieschgras				2	2	4
Knautgras	2	4				
Glatthafer		3	2			2
Rotklee					6	5
Luzerne	18	13	12	10	7	6
Mischung	20	20	20	18	20	25

Anbaubereich Verwitterungs-Standorte (Futterpflanzenanbaubereich (AG) 7)

Mischung Nr.	3.1.	3.2.	3.3.	3.4.	3.9.	3.10.
Art	Saatmenge (kg/ha)					
Bastardweidelgras/ Festulolium		16	20			
Deutsches Weidel- gras		4		4		
Wiesenschwingel	9			10	5	8
Wiesenlieschgras	3			3	2	4
Glatthafer						2
Rotklee	13	8	8	11	6	5
Luzerne					7	6
Mischung	25	28	28	28	20	25

Sortenempfehlungen nach Anbaugebieten

Art	AG	Art	AG
<i>Deutsches Weidelgras früh</i>		<i>Bastardweidelgras</i>	
Arvicola (t)	7	Acrobat (t)	7
Lacerta (t)	7	Enduro (t)	7
Picaro	7	Ibex (t)	7
Salamandra (t)	7	Leonis (t)	7
Telstar	7	Pirol (t)	7
		Rusa (t)	7
		Tetratop (t)	7
<i>Deutsches Weidelgras mittel</i>		<i>Wiesenlieschgras</i>	
Alligator (t)	7	Comer	6,7
Eurostar (t)	7	Licora	6,7
Fennema	7	Lischka	6,7
Isabel RVP	7		
Limbos (t)	7	<i>Wiesenschwingel</i>	
Niata	7	Cosmolit	6,7
Premium	7	Pradel	6,7
Trivos (t)	7	Preval	6,7
<i>Deutsches Weidelgras spät</i>		<i>Festulolium</i>	
Barélan (t)	7	Lifema	7
Elgon (t)	7	Mahulena	7
Fornido (t)	7		
Forza (t)	7	<i>Glatthafer</i>	
Honroso	7	Arel 41	6,7
Kentaur (t)	7	Arone	6,7
Loporello (t)	7		
Sirius (t)	7	<i>Rotklee</i>	
Tivoli (t)	7	Atlantis (t)	6,7
Twymax (t)	7	Amos (t)	7
Vesuve (t)	7	Astur (t)	6,7
		Larus (t)	6,7
<i>Luzerne</i>		Magellan (t)	6,7
Fee	6,7	Rotra (t)	7
Filla	6,7	Taifun (t)	6,7
Sanditi	6,7	Tempus (t)	6,7
		Titus (t)	6,7
<i>Knautgras</i>			
Horizont	6,7		
Treposno	6,7		
(t) tetraploide Sorte			

4. Bewertung von Zweikulturnutzung

4.1 Problemstellung

Das Zweikulturnutzungssystem stellt eine Möglichkeit zur Steigerung der Trockenmasse- und damit Gaserträge dar. Ein Erfolg versprechendes praxisübliches Produktionsverfahren ist der Anbau von Futterroggen zur Anweilensilageproduktion im zeitigen Frühjahr und die anschließende Bestellung von Zweitfruchtmais. Besonders initiiert durch steigende Agrarpreise und den Substratbedarf für Biogasanlagen wird über die Steigerung der Biomasse- und Methanhektarerträge verstärkt nachgedacht. Silomais in Hauptfruchtstellung ist eine der wirtschaftlich leistungsfähigsten Energiepflanzen für die Biogasproduktion. Unbestritten ist der Biomassemehrertrag des Zweikulturnutzungssystem Futterroggen – Silomais. Neben der in folgenden zu analysierenden Wettbewerbsfähigkeit dieses Verfahrens sind aber folgende pflanzenbauliche Faktoren mit zu beachten:

- Hauptfruchtmais schöpfte in der Tendenz der letzten Jahre in der Praxis wegen seiner günstigeren Position bezüglich Wasserversorgung und Bestelltermin das Ertragspotenzial besser aus als Mais in Zweitfruchtstellung.
- Silomais realisiert den erforderlichen Trockenmassegehalt zur Konservierung sicher.
- Futterroggen muss zum Anweilen ins Schwad gelegt werden und erreicht trotzdem im Mittel der Jahre wegen der niedrigen Temperaturen zur Erntezeit und häufiger Niederschläge im April nur ca. 25% Trockenmasse im Welkgut.
- Futterroggensilierung führt zu etwas höheren Trockenmasseverluste und oft zu Anfall an Silosickersaft. Das bedeutet Energieverlust und Mehraufwand für die Einbringung des Sickersaftes in die BGA.

4.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich Hauptfruchtmais und Zweitfruchtmais

Ausgangsparameter

Unter Verwendung von den TLL Kalkulationsmodellen zur Leistungs- Kostenrechnung besteht die Aufgabe, beide Verfahren hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zu vergleichen und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. In die Leistungs-Kostenrechnung fließen sowohl Versuchsergebnisse, Expertenwissen und verfügbare Praxiserfahrungen ein. Hierbei werden sowohl Biomassemehrertrag und Methanhektarertrag als auch der verringerte Flächenbedarf in die Kalkulation einbezogen.

Ertragsseitig wird ein um 10 dt TM höhere Leistung des Hauptfruchtmais und ein Futterroggentrockenmasseertrag von 40 dt/ha unterstellt. Winterzwischenfrucht und Zweitfruchtmais lassen somit einen rd. 25% höheren Trockenmassegesamtertrag als Silomais in Hauptfruchtstellung erwarten. Zu beachten sind auch der geringere Methangasertrag des Futterroggens von nur 320 l/kg oTS (Tab. 3).

Tabelle 3: Parameter für die Produktion von Futterroggen/Zweitfruchtmais und Hauptfruchtmais

Position	ME	Silomais (Hauptfrucht)	Futter- roggen	Silomais (Zweitfrucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
Trockenmasseertrag brutto	dt/ha	130	40	120	123 %
Trockenmassegehalt z. Ernte	%	32	18	32	
Trockenmasseverluste	%	10	12	10	110%
Trockenmassegehalt Siliergut	%	32	25	32	
Methanausbeute	m ³ CH ₄ /kg oTS	340	320	340	97%

Kalkulationsergebnisse

Das Zweikulturnutzungssystem erreicht mit 143 dt TM/ha einen Netto-Ertragsvorteil von 22 %. Die geringere Methanausbeute des Futterroggens führt zu insgesamt niedrigeren spezifischen Gaserträgen bezogen auf die Bruttotrockenmasse. Dadurch reduziert sich der Ertragsvorteil im Methanhektarertrag auf 19 %. Dieser Mehrleistung des Zweikulturnutzungssystems stehen aber Erhöhungen bei den Direkt- und Arbeiterledigungskosten gegenüber.

Tabelle 4: Leistungen der Produktion von Futterroggen/Zweitfruchtmais und Hauptfruchtmais

Position	ME	Silomais (Hauptfrucht)	Futter- roggen	Silomais (Zweit- frucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
Trockenmasse- gehalt Silage	%	32	25	32	
Trockenmasse- ertrag netto	dt/ha	117	35	108	122%
Methanertrag	m ³ CH ₄ /ha	3779	1014	3488	119%

Die Düngerkosten, welche zunächst mit Nährstoffentzügen zu Mineraldüngerpreisen angesetzt werden, liegen für Winterzwischen- und –zweitfrucht um knapp 50% über dem Hauptfruchtmais. Nach Gegenrechnung des Nettowertes der Nährstoffrückführung aus den Gärresten (Tab. 5) erreicht das Kostenniveau eine Verursacher gerechte Höhe, ohne jedoch die Relationen zwischen den beiden Produktionsverfahren wesentlich zu verändern.

Der höhere Aufwand an Siliermitteln beim Futterroggen wirkt sich ebenso nachteilig aus. Dagegen führen günstigere Verhältnisse beim Aufwand an PSM (Futterroggen ohne) und Saatgut letztlich zu einer Entlastung des Zweikultursystems und insgesamt zu einer Absenkung des Überhanges der Direktkosten auf rd. 130 % des Hauptfruchtmaises.

Tabelle 5: Direktkosten der Produktion von Futterroggen/Zweitfruchtmais und Hauptfruchtmais (€/ha)

Position	Silomais (Hauptfrucht)	Futter- roggen	Silomais (Zweitfrucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
Saatgutkosten	166	36	166	122%
Entzugsdüngung (miner.)	398	212	368	146%
PSM	57	0	57	100%
Folie u. Siliermittel	29	18	27	155%
Summe	650	266	617	136%
Summe Nährstoffrück. sald.	482	170	462	131%

Bei der ökonomischen Bewertung der Gärrestrückführung werden 40 % N-Verluste und eine Anrechnung des Düngewertes von 70 % unterstellt. Die Applikationskosten der um 25 % reduzierten Menge sind mit 3,20 €/m² angesetzt und die eingesparten Kosten für die Mineraldüngung saldiert (Tab. 6).

Tabelle 6: Wert der Nährstoffrückführung von Futterroggen/Zweitfruchtmais und Hauptfruchtmais

Position	ME	Silomais (Haupt- frucht)	Futterrog- gen	Silomais (Zweit- frucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
N- Bruttowert nach 40% Verlust	€/ha	105	56	96	145%
Nährstoffbruttowert (N, P, K, Mg)	€/ha	329	175	303	145%
Gärrestanfall bei 25% Masse- verlust	t/ha	31	12	28	129%
Applikationskosten (3,2 €/m ³)	€/ha	-98	-38	-90	131%
Einsparung Mineraldünger- streuen	€/ha	+9	0	+9	100%
Saldo Bruttowert und Arbeits- erledigung	€/ha	240	137	222	150%
Nettowert (70% Anrechnungs- rate)	€/ha	168	96	155	149%

Die Winterzwischenfrucht und der Zweitfruchtmais werden mit minimalem Aufwand in der Bodenbearbeitung zur Sicherung einer hohen Schlagkraft bei der Bestellung, sowie zur Kosteneinsparung und Schonung der Bodenwasservorräte ins Feld gestellt. Durch drei Überfahrten bei der Futterroggenernte (Mähen, Schwaden und Häckseln) bei vergleichsweise niedrigem Ertrag kippen die bis zur Bestandesetablierung vorhandenen Vorteile im Arbeitsverfahren ins Gegenteil um. Insgesamt verursacht das Verfahren Futterroggen/Zweitfruchtmais rd. 140 % des Personalaufwandes und 150 % der Arbeitserledigungskosten vom Hauptfruchtmais (Tab. 7).

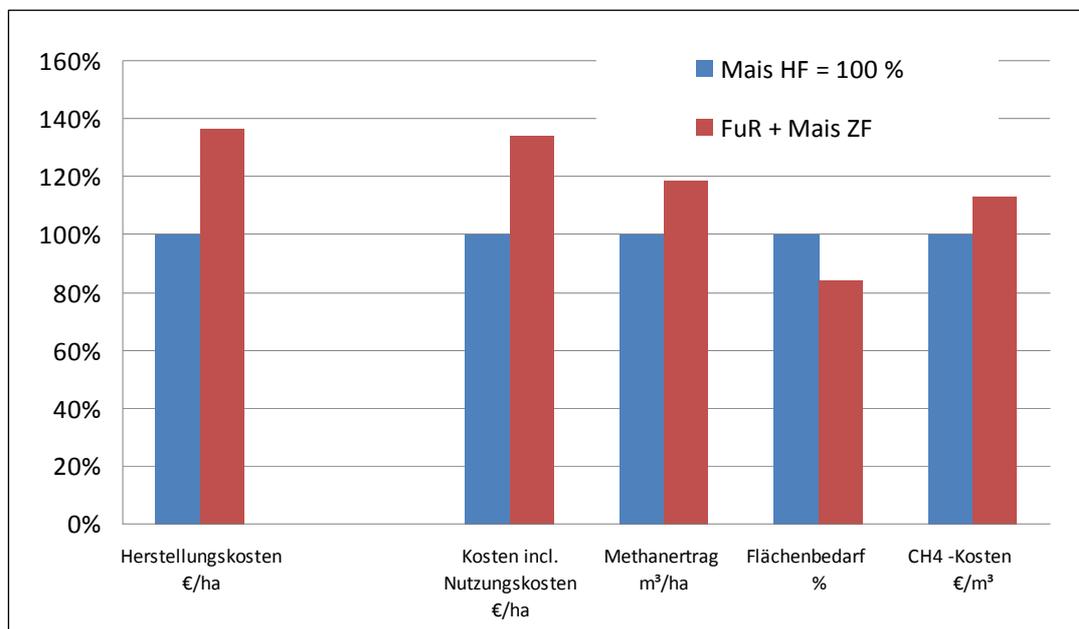
Tabelle 7: Arbeitszeitbedarf, Personal- und Arbeitserledigungskosten von Futterroggen/ Zweitfruchtmais und Hauptfruchtmais

	ME	Silomais (Haupt- frucht)	Futter- roggen	Silomais (Zweit- frucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
Arbeitszeitbedarf	AKh/ha	13,6	6,5	12,8	142%
Personalkosten (9,49 €/h; 50 % LNK)	€/ha	194	93	182	142%
Arbeitserledigungskosten	€/ha	708	402	664	151%

Wegen gleicher Pacht- und Allgemeinkosten ergeben sich für das Zweikulturnutzungssystem schließlich 137 % der Flächen bezogenen Herstellungskosten (Abb. 11). Unter Berücksichtigung gleicher Flächenzahlungen von 302 €/ha, die in allen Verfahren Leistungsbestandteil sind, entstehen Nutzungskosten von 200 €/ha (Tab. 8).

Tabelle 8: Leistungen und Kosten von Futterroggen/Zweitfruchtmais und ertragsstärkerem Hauptfruchtmais

Position	ME	Silomais (Hauptfrucht)	Futter- roggen	Silomais (Zweitfrucht)	Fu.-Roggen + Mais rel. Hauptfr. = 100
Trockenmasseertrag	dt TM/ha	130	40	120	123%
Methanertrag	m ³ CH ₄ /ha	377 9	1014	3488	119%
Herstellungskosten	€/ha	1704	726	1616	137%
Flächenzahlungen	€/ha	-302	0	-302	100%
Nutzungskosten	€/ha	+200	-72	+200	64%
Nährstoffrückführung	€/ha	-168	-96	-155	149%
Zinsansatz	€/ha	127	61	118	141%
Saldo Kosten	€/ha	1561	619	1477	134%
	€/dt OM	4,35	4,4	4,4	
	€/m ³ CH ₄	0,41	0,61	0,42	113%
Saldo Kosten	€/kWh _{Strom}	0,11	0,16	0,11	113%


Abbildung 11: Kostenvergleich Biogassubstrate Mais HF (100 %) zu FuR und Mais ZF (Nutzungskosten 200 €/ha; DB Druschfrüchte 450 €/ha), *Quelle* : BRW der TLL

Unter Berücksichtigung der Flächenprämie und der Nutzungskosten (nach Flächenprämie) entsteht beim Mais in beiden Produktionsverfahren eine Kostenentlastung von rd. 100 €/ha. Damit sinken die Herstellungskosten beim Hauptfruchtmais durch Kostenentlastung aus der Nährstoffrückführung von 168 und mit Zinskostenbelastung von 127 €/ha auf 1561 €/ha. Bei der Zweikulturnutzung ist für den gleichen Methanertrag nur 84 % der Fläche erforderlich.

Auf der frei gesetzten Fläche entsteht ein Zusatznutzen in Höhe des darauf realisierbaren Deckungsbeitrages von Druschfrüchten ($0,16 \text{ ha} * 450 \text{ €/ha DB} = 72 \text{ €/ha}$). Damit verringert sich das Kostenverhältnis auf 134% (Abb. 11). Dividiert man 134 % saldierte Kosten durch 119 % Methanertrag, dann erhält man die spezifischen Methanerzeugungskosten von **113 %** des Zweikultursystems zu Mais in Hauptfruchtstellung.

Sensibilitätsanalyse

Wenn ein höherer Getreidepreis angesetzt wird, steigen sowohl die Nutzungskosten als auch der Gewinn an Deckungsbeitrag auf der frei gesetzten Fläche durch Zweikulturnutzung. Erst bei sehr hohen Getreidepreisen ($>25 \text{ €/dt}$) sinken die spezifischen Methanerzeugungskosten dieses Verfahrens dann unter die von Hauptfruchtmais.

Unterstellt man sehr günstige Bedingungen (Aussaattermin Anfang Mai; ausreichende Wasserversorgung in der Vegetationsperiode) sind gleiche Erträge von Zweitfrucht- und Hauptfruchtmais möglich. Damit reduzieren sich die spezifischen Methanerzeugungskosten im gewogenen Mittel von Futterroggen und nachfolgendem Mais auf 108 % ($0,44 \text{ €/m}^3$) der Vergleichsvariante ($0,41 \text{ €/m}^3$).

Eine weitere Kostensenkung auf 105% hätten überdurchschnittliche Futterroggenerträge von 60 dt TM/ha zur Folge. Diese erscheinen bei einer sehr günstigen Frühjahrswitterung (zeitiger Vegetationsbeginn und warmer April) realistisch, weil diese dann nicht mit Kompromissen bei der Silagequalität und dem optimalen Bestelltermin für den Mais erkaufte werden müssen. Sehr knappes Flächenangebot und hohe Pachtpreise verschieben die Relationen der Vorzüglichkeit ebenfalls zu Gunsten des Zweikulturnutzungssystems. Allerdings hält sich die Wirkung in Grenzen, weil das Niveau der Herstellungskosten in beiden Varianten angehoben wird. Eine Pachtpreissteigerung von 140 auf 340 €/ha hätte spezifische Methankosten von $0,51 \text{ €/m}^3$ zur Folge, die unter vergleichbaren Bedingungen 109 % vom Hauptfruchtmais entsprechen.

4.3 Zusammenfassung

Die Diskussion aller Ergebnisse und die durchgeführten Variantenrechnungen machen deutlich, dass unteren mittleren Bedingungen keine wirtschaftliche Überlegenheit des Produktionsverfahrens Futterroggen/ Zweitfruchtmais gegenüber dem Anbau von Mais in Hauptfruchtstellung zu erwarten ist.

Je stärker die begünstigenden Faktoren für das Zweikulturnutzungssystem ausgeprägt sind, umso eher erreicht es wirtschaftliche Vorzüglichkeit. Dazu zählen relative hohe Mehrerträge an Methan, geringe spezifische Direkt- und Arbeitserledigungskosten, ein hohes Niveau der Getreidepreise und der Flächenkosten.

Nach schwachen Futterjahren ist das Zweikulturnutzungssystem eine kurzfristig nutzbare Option zur Wiederherstellung einer ausgeglichenen Grundfutterbilanz.

5. Bewertung von Zuckerrüben für die Biogasproduktion

5.1 Problemstellung

Die Zuckerrübenproduktion war bis zur Reform der Zuckermarktordnung 2005/06 der mit Abstand rentabelste und stabilste Zweig in der Marktfruchtproduktion, allerdings mit quotiertem geringem und z. T. in Folge der Reform rückläufigem Anbauumfang.

Getreidelastige Marktfruchtbetriebe brauchen dringend wirtschaftliche Blattfruchtalternativen. Der Einsatz von Zuckerrüben als Kosubstrat in BGA stellt eine Alternative zum Erhalt des Zuckerrübenanbaues auf den traditionsreichen Thüringer Standorten dar.

Biogasrüben sind dort vor allem für Betriebe mit einer vorhandenen Biogasanlage von Interesse, da dann Zuckerrüben als Kosubstrat auch zeitlich befristet zum Einsatz kommen können.

Die Zuckerrübe liefert sehr hohe Trockenmasse- und Gaserträge und ist damit ein potentiell geeignetes Gärsubstrat. Wegen ihrer leicht umsetzbaren Inhaltsstoffe und der daraus resultierenden kurzen Verweilzeit eignet sie sich auch gut für die Steuerung der Gaserzeugung.

Die Vorzüge der Zuckerrübe können ohne Flächenerweiterung sporadisch in Jahren mit hohen Erträgen als Kosubstrat oder planmäßig zur ganzjährigen Bereitstellung von Kosubstraten mit entsprechend erweitertem Rübenanbau genutzt werden.

Für die Feldproduktion der leistungsstarken Kultur sind sichere Produktionsverfahren vorhanden.

Der Einsatz in Biogasanlagen erfordert im Vergleich zur Vermarktung an die Zuckerfabrik folgende zusätzliche Arbeitsgänge:

- Abtrennung von Erdanhang und ggf. Steinen aus der Ernteware
- Zerkleinerung der Rüben vor oder nach der Lagerung
- zeitlich befristete Lagerung entsprechend dem Einsatzziel als variables bzw. ganzjährige Lagerung als planmäßiges Kosubstrat

Mit einschlägigen Berechnungen sind auf der Grundlage des verfügbaren Kenntnisstandes die Grenzkosten für die Rohstofferzeugung sowie die Aufbereitungs- und Konservierungsverfahren zu ermitteln.

5.2 Wirtschaftlichkeit von Biogasrüben

5.2.1 Verwertung von Überschussrüben als Kosubstrat

In Jahren mit sehr guten Erträgen und moderaten Industrierübenpreisen ist die Gaserzeugung aus Rüben, die nicht zur Quotenerfüllung benötigt werden, eine wirtschaftliche Alternative (Tab. 9). Als Referenzsituation stellt sich hier der Verkauf als Industrierüben (21 €/t) dar. Neben der Durchführung von Mietenschutzmaßnahmen gegen Frost für eine zeitlich befristete Lagerung verursachen Arbeitsverfahren für die zusätzliche Reinigung und das Bröckeln der Zuckerrüben vor dem Eintrag in den Fermenter Zusatzkosten. Der finanzielle Spielraum von 13,5 €/t im Vergleich zu den Industrierüben bei moderat angesetzten Gasertrag von 75 m³/CH₄/t FM reicht für die Abdeckung der Mehraufwendungen einschließlich Transport und Umschlag sicher aus. Bei 90 m³/CH₄/t FM erhöht sich dieser Betrag auf ca. 23,5 €/t.

Die Restkosten der BGA (Fest- und Betriebskosten ohne Substrat) wurden mit 0,05 €/kWh allerdings sehr knapp angesetzt (ca. 50% des Aufwandes nach Experteneinschätzung) und wie folgt auf die Rübe umgelegt:

$$0,05 \text{ €/kWh} * 250 \text{ kWh/t (75 m}^3\text{/CH}_4\text{/t FM * 3,3 kWh}_e\text{/m}^3\text{) = 12,5 €/t}$$

Tabelle 9: Was mache ich mit Überschussrüben (Nichtquotenrüben) ??
 Quelle: Weber, U. BAG Budissa Vortrag Meerane 2009

Einheit	Quotenrübe	Industrierübe	Biogaserübe	
			STVZ ¹⁾	KWS ²⁾
Bruttoerlös (€/t)	30	21	50	60
Nettoerlös (€/t)	30	21	???	???
Kosten Biogasanlage (€/t)			12,5 ⁴⁾	12,5 ⁴⁾
freie €/t Rübe			37,5	47,5
Abzug Pressschnitzel netto ³⁾			3	3
Abzug Industrierübe			21	21
freie Mittel (Rein., Aufb., TUL)			13,5	23,5

¹⁾ Gasertrag ber. n. Ang. des Verb. Sächsisch-Thüringischer Zuckerrübenanbauer 75 m³/CH₄/t FM

²⁾ Gasertrag ber. n. Ang. KWS Praxis 90 m³/CH₄/t FM (90 * 3,3 kWh el/m³ * 0,21 €/kWh = 62 €/t)

³⁾ Pressschnitzelerlös bezogen auf Rübe €/t (14 €/t * 21%)

⁴⁾ 250 kWh/t (75 m³/CH₄/t FM * 3,3 kWh el/m³) mit 0,05 €/kWh

Wenn der Industrierübenpreis als Verwertungsalternative z.B. auf 28 €/t steigt, dann kippt der ökonomische Vorteil vor allem in Biogasanlagen mit einem relativ niedrigen Durchschnittserlös für den erzeugten Strom (Tab. 10).

Bei niedriger Gasausbeute kommt man selbst mit der Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren wirtschaftlich unter Druck.

Tabelle 10: Grenzkosten für die Aufbereitung und Lagerung von Biogaserüben bei Ersatz teuren Industrierüben erklärt sich mir nicht
 Quelle: Weber, U. BAG Budissa Vortrag Meerane 2009

Einheit	Industrierübe	Biogaserübe	
		STVZ ¹⁾	KWS ²⁾
Bruttoerlös (€/t)	28	45	53
Nettoerlös (€/t)	28	???	???
Kosten Anlage (€/t)		12,5 ⁴⁾	12,5 ⁴⁾
freie €/t Rübe		32,5	40,5
Abzug Pressschnitzel netto ³⁾		3	3
Abzug Industrierübe		28	28
freie Mittel (Reinigung, Aufbereitung, TUL)		1,5	9,5

¹⁾ Gasertrag ber. n. Ang. des Verb. Sächsisch-Thüringischer Zuckerrübenanbauer 75 m³/CH₄/t FM

²⁾ Gasertrag ber. n. Ang. KWS Praxis 90 m³/CH₄/t FM (90 * 3,3 kWh el/m³ * 0,18 €/kWh = 53 €/t)

³⁾ Pressschnitzelerlös bezogen auf Rübe €/t (14 €/t * 21%)

⁴⁾ 250 kWh/t (75 m³/CH₄/t FM * 3,3 kWh el/m³) mit 0,05 €/kWh

5.2.2 Zuckerrüben als Alternativsubstrat

Ein planmäßiger Ersatz von Silomais durch Zuckerrüben setzt vor allem praxistaugliche und kostengünstige Verfahren der ganzjährigen Lagerung und/oder Konservierung voraus.

In der gegenwärtigen Pilotphase befinden sich eine Reihe von technischen Lösungen in diesem Bereich in Erprobung. So wird sowohl die Lagerung in einer Lagune als aufbereiteter Zuckerrübenbrei, als auch die Lagerung in Großmieten mit 6 bis 8 m Stapelhöhe erprobt. Auch die Schlauchsilierung ganzer Rüben befindet sich seit mehreren Jahren im Test.

Die Grenzkosten für die Verfahren leiten sich aus den Substratherstellungskosten, ausgedrückt als Methanherstellungskosten in €/m³ CH₄ der Referenzvariante Silomais ab. Das Ergebnis weist explizit die möglichen Kosten für die Aufbereitung und Lagerung der Zuckerrüben aus, da es dafür zurzeit kaum belastbare Richtwerte gibt.

Wegen relativ hoher Kosten für die Feldproduktion von Zuckerrüben ist bei den gegenwärtigen Ertragsrelationen von Silomais zu Zuckerrüben und dem bisherigem Kenntnisstand zu den Gasaussbeuten und Silierverlusten von Zuckerrüben die Spanne für die Kosten der Aufbereitungs- und Konservierungsverfahren sehr eng (Tab. 11). Hinsichtlich des Gasertrages wurden hier die Werte von 390 l/kg oTS siliert bzw. 380 l/kg frisch unterstellt. Für die Lagerungsverluste ist ein Wert von 10 % bzw. 5% der TM angenommen worden. In der Variante Silierung verbleibt zur Kostendeckung für den Verfahrensabschnitt Aufbereitung und Konservierung nur ein völlig unzureichender Betrag von 1,1 €/t. Wenn man als Gasaussbeute den Richtwert vom KTBL von 360 l/kg oTS unterstellt, würde die ohnehin zu knappe Marge noch geringer.

Tabelle 11: Grenzkosten für die Aufbereitung und Lagerung von Biogaserträgen bei Ersatz von Silomais

Position	ME	Silomais	Zuckerrüben	
			siliert	Miete
Bruttoertrag	t/ha	42	63	63
Trockensubstanzgehalt	%	32	21	23
Nettoertrag	t/ha	38	57	60
Methanertrag ¹⁾	m ³ /t OM	103	75	80
Methanertrag	m ³ /ha	3900	4300	4800
Methanherstellungskosten (abz. Gärrest)	€/m ³	0,41	0,41	0,41
Methanherstellungskosten (abz. Gärrest)	€/ha	1613	1760	1970
Feldproduktion. und Ernte frei Lager	€/ha	1271	1690	1690
Aufbereitung und Lagerung	€/ha	342	70	280
Grenzkosten Aufbereitung u. Lagerung	€/t		1,1	4,4

¹⁾ Gaserträge von ZR nach Wagner, A.; Scholtissek, M.; Auerbach, H.; Herbes, C. u. Weißbach, F. in Biogasjournal 3_2010 (340/390/380 l_N CH₄/kg oTS)

Erste Ergebnisse aus der Aufbereitung und Lagerung von Zuckerrüben in einem Referenzbetrieb zeigen, dass selbst bei Ausschöpfung vorhandener Reserven die Bereitstellung frischer zerkleinerter Rüben 5 - 7 €/t und von siliertem Rübenbrei 10 - 12 €/t kostet (Tab. 12).

Tabelle 12: Kosten für die Aufbereitung und Lagerung von Biogasrüben im Referenzbetrieb

Position	Leistung t/h	Kosten	
		€/h	€/t
Laden und Reinigen	51	70	1,4
Transport Feld – Silo (Güllelager alt)	26	70	2,7
Hochsetzen am Silozwischenlager	43	36	0,8
Zerkleinern und Einlagern (Lohnarbeit)	81	200	2,5
Lagerung (A = 30 €/m ³ ; ND = 20 Jahre)			1,7
Entnahme und Transport zur BGA	22	60	0,1+2,7
Kosten			11,9
Grenzkosten (Alternative Industrierübe)			13,5

Der Betrieb verfügt zum Reinigen und Laden über ein Verladeband aus den Zeiten der eigenen Tätigkeit als Spediteur im Zuckerrüben-Transportgeschäft im Auftrag der Südzucker AG. Dadurch kann dieser Verfahrensabschnitt kostengünstig in Eigenleistung ausgeführt werden. Für das Zerkleinern kommt ein industrieller Schredder in Dienstleistung zum Einsatz.

Wenn für das Bröckeln frischer Rüben einfachere Lösungen in Verbindung mit dem Beschicken des Fermenters Anwendung finden, lässt sich die Verfahrensabschnitt Transport und Aufbereitung mit Aufwendungen von 5 €/t realisieren. Das trifft aber nur auf Standorte zu, wo der Steinbesatz keine Rolle spielt.

Die geringen Kosten für die Langzeitlagerung resultieren aus der Nutzung eines alten Güllebeckens, das sich jedoch nicht am Standort der Biogasanlage befindet. Der notwendige mobile Transport des vergorenen Rübenpreiszehrt einen Teil des Vorteiles wieder auf.

Im günstigen Fall dürfte die ganzjährige Bereitstellung von Substrat aus Zuckerrüben mit 10 €/t Aufbereitungs- und Lagerungskosten machbar sein. Damit wäre diese Verwertungsform vorzugsweise gegenüber dem Industrierübenverkauf in Niedrigpreisphasen wettbewerbsfähig.

5.3 Zusammenfassung

Der zeitlich und mengenmäßig begrenzte Einsatz von Überschussrüben in Biogasanlagen kann eine wirtschaftliche Verwertungsalternative darstellen, wenn die Aufbereitungs- und Lagerungskosten nicht ausufern.

Ein gezielter Anbau der Zuckerrübe als Kosubstrat zum anteiligen Ersatz von Silomais erscheint beim gegenwärtigen Stand nur in frischem Zustand und damit zeitlich begrenzt wirtschaftlich sinnvoll.

Die ganzjährige Verwertung setzt vor allem sichere und kostengünstige Konservierungsverfahren voraus, die gleiche Methanherstellungskosten wie aus Energiemais erwarten lassen. Dazu sind aussichtsreiche Pilotvorhaben in der Praxis wissenschaftlich zu begleiten und die besten Erfahrungen zu verallgemeinern.

6. Alternativen zum Mais – Vergleichende Betrachtung von alternativen Energiepflanzen

Gemäß dem Nationalen Aktionsplan für Erneuerbare Energien der Bundesregierung soll der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland kontinuierlich weiter fortgesetzt werden, um perspektivisch den Hauptanteil an der Energieversorgung zu übernehmen. Eine wichtige Bedeutung zur Erreichung dieser Ziele kommt der Bioenergie zu. Hier wiederum spielt die Biogasproduktion eine entscheidende Rolle. Derzeit existieren deutschlandweit ca. 7 500 Biogasanlagen, in denen 2012 pflanzliche Substrate von ca. 960 000 ha landwirtschaftlicher Fläche zum Einsatz kommen. Dieser Bedarf wird in den nächsten Jahren weiter steigen. Das wichtigste Kosubstrat in Biogasanlagen ist gegenwärtig der Mais, auch Getreide und Ackerfutter kommen in Größenordnungen zum Einsatz. Seit einiger Zeit verstärkt sich aber auch die Suche nach sinnvollen Ergänzungen bzw. Alternativen im Kosubstratbereich, zumal nach der Novelle des EEG ab 2012 eine „Deckelung“ des Maiseinsatzes in Biogasanlagen auf 60 % des Substrates erfolgte und ausgewählte Kofermente höher vergütet werden.

Obwohl in Thüringen wegen der geringen Tierbestände und des vergleichsweise hohen Anteils an Wirtschaftsdüngern in den über 230 landwirtschaftlichen Biogasanlagen keine „Vermaisung“ der Landschaft droht, im Gegenteil, die Landwirte den Mais als wichtiges Fruchtfolgeglied benötigen, sind einige der als Koferment diskutierten Arten unter Thüringer Standortbedingungen geprüft worden. Dazu zählen verschiedene Knötericharten, die zu den Malvengewächsen gehörende Sida, die Korbblütler Topinambur und Durchwachsene Silphie sowie Sorghumhirsen als sommerannuelle Süßgräser. Kürzlich haben auch Versuche mit Szarvasigras begonnen. Der überwiegende Teil der Versuche kam in der Versuchsstation Dornburg, einem Lössstandort im östlichen Randgebiet des Thüringer Beckens, zur Anlage. Weitere Versuche wurden in Friemar, Kirchengel, ebenfalls Lössstandorte im Erfurter Becken bzw. in der nördlichen Randlage desselben sowie in der Versuchsstation Heßberg, einem Verwitterungsstandort in Südthüringen, durchgeführt. Die standörtlichen Gegebenheiten der Versuchsstandorte beinhaltet Tabelle 13.

Tabelle 13: Charakterisierung der Versuchsstandorte

Standort	Bodenform	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage (m)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Dornburg	Löss-Parabraunerde	Stark toniger Schluff	46 bis 80	260	8,3	584
Heßberg	Bergton-Staugley	Lehm-Ton	43	380	7,1	760
Friemar	Löss-Braun-Schwarzerde	Lehm	96	284	7,8	519
Kirchengel	Löss-Rendzina	Lehm	60 bis 65	326	7,8	556

Ausgewählte Versuchsergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Knötericharten

Ausdauernde Knötericharten könnten wegen ihres hohen Biomassebildungspotenzials als Biogassubstrat interessant sein. Aufgrund des invasiven Potenzials ist in diesem Zusammenhang allerdings vom Anbau von Sachalin- (*Fallopia* bzw. *Polygonum sachalinensis*) oder Japanknöterich (*Fallopia* bzw. *Polygonum japonica*) abzuraten.

Frühere Untersuchungen hinsichtlich einer potenziellen thermischen Nutzung erfolgten in Thüringen z. B. mit dem horstig wachsenden, nicht Rhizomausläufer bildenden Weyrichknöterich (*Polygonum weyrichii*). Diese Dauerkultur kam nun von 2006 bis 2011 bezüglich ihrer Eignung als Biogaspflanze zu drei Ernteterminen zur Prüfung, wobei der Knöterich im Anpflanzjahr keinen erntewürdigen Aufwuchs bildete. Zur Ernte wurden TS-Gehalte von 25 bis 30 % angestrebt. Allerdings z

eigte sich, dass die Abreife des Knöterichs in Abhängigkeit von der Jahreswitterung zeitlich sehr stark schwankt und insgesamt schwer zu bestimmen ist (Tab. 14).

Tabelle 14: Einfluss des Erntetermins auf den TS-Gehalt von Weyrichknöterich, VS Dornburg 2007 bis 2011

PG	Erntetermin					TS-Gehalt (%)				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
1. Erntetermin (bei 25 % TS)	04.09.	11.08	19.07.	27.07.	10.08.	22,7	37,8	25,0	27,7	25,7
2. Erntetermin (bei 28 % TS)	24.09.	18.08.	06.08.	09.08.	30.08.	27,5	36,5	25,8	25,7	28,8
3. Erntetermin (bei 30 % TS)	01.10.	27.08.	27.08.	20.08.	16.09.	29,3	33,5	38,1	24,3	28,0
GD t, 5 %						3,6	2,6	6,4	2,6	2,0

Trotz optimaler Nährstoffversorgung (Düngung nach Entzug) lagen die erreichten Erträge mit 40 bis 88 dt TM/ha auf einem unbefriedigend niedrigen Niveau (Tab. 15), so dass der Versuch nach dem 6. Standjahr beendet wurde.

Tabelle 15: Einfluss des Erntetermins auf Wuchshöhe und Ertrag von Weyrichknöterich, VS Dornburg 2007 bis 2011

PG	Wuchshöhe (cm)					Ertrag (dt TM/ha)				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
1	76	118	130	162	116	46,3	40,8	59,6	88,3	59,1
2	84	130	140	162	110	49,2	47,2	77,1	86,4	68,6
3	71	133	154	176	138	50,2	40,7	60,3	81,4	62,6
GD t, 5 %	7,0	8,7	12,2	9,4	12,9	8,0	7,8	11,7	11,5	10,0

Am Erntegut 2010 erfolgten zusätzlich Untersuchungen zu den Biogas- und Methanausbeuten im Hohenheimer Biogas- und Methantragsstest (HBT). Die gemessenen Werte sanken von 350 NI/kg oTS Biogas bzw. 210 NI/kg oTS Methan beim ersten Erntetermin, über 337 NI/kg oTS Biogas bzw. 204 NI/kg oTS Methan zur zweiten Ernte bis hin zu 327 NI/kg oTS Biogas bzw. 198 NI/kg oTS Methan zum letzten Schnitt und wiesen damit ebenfalls ein sehr geringes Niveau auf.

Insgesamt ist einzuschätzen, dass der geprüfte Weyrichknöterich zwar keine Ausläufer bzw. tiefgehende Rhizome bildet, für einen Anbau als Biogassubstrat jedoch aufgrund der geringen Erträge und Gasausbeuten unter Thüringer Standortverhältnissen nicht geeignet ist.

Im Jahr 2010 kam eine Versuchspflanzung mit zwei Igniscum®-Sorten, „Candy“ und „Basic“, in Dornburg zur Anlage. Igniscum® ist eine spezielle Knöterichzüchtung, die ebenfalls keine Ausläufer, sondern runde Horste bildet und demzufolge auch ein deutlich geringeres invasives Potenzial aufweisen sollte als Sachalin- oder Japanknöterich.

Auch diese Knöterichart bildete im Anpflanzjahr keinen Ertrag aus und wurde so 2011 erstmalig beerntet. Die erreichten Erträge lagen geringfügig über denen des Weyrichknöterichs im zweiten Standjahr, waren aber trotzdem nicht zufriedenstellend. Im Folgejahr 2012 war der Bestand deutlich höher und dichter und auch die Erträge stiegen um ca. 25 % bei beiden Sorten an (Tab. 16).

Tabelle 16: Wuchshöhe, Ertrag und TS-Gehalt zweier Igniscum®-Sorten, VS Dornburg 2011 und 2012

Sorte	Wuchshöhe (cm)		TM-Ertrag (dt/ha)		TS-Gehalt (%)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Candy	130	180 bis 250	66,8	84,0	32,2	26,8
Basic	150	250 bis 300	73,6	92,4	30,2	29,1

Da Igniscum® sein volles Ertragspotenzial erst ab dem dritten Standjahr erreichen soll, sind gesicherte Aussagen zum Ertragsvermögen dieser Knöterichzüchtung zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich.

In 2011 wies „Candy“, eine speziell für den Biogasbereich angebotene Sorte, bei Untersuchung im Hohenheimer Biogasertragstest Biogasausbeuten von 203,2 NI/kg oTS sowie Methanausbeuten von 125,6 NI/kg oTS auf. Bei der Sorte „Basic“, die eher für die Verbrennung geeignet sein soll, waren es 188,3 NI/kg oTS Biogas bzw. 118,1 NI/kg oTS Methan. Die Ergebnisse zu den Gasausbeuten 2012 stehen noch aus.

Sida-Virginiamalve

Sida hermaphrodita, ein ausdauerndes Malvengewächs aus den trockenen Gebieten Nordamerikas, wird ebenfalls als potenzielle Energiepflanze beschrieben.

Um ihre Anbaueignung unter Thüringer Standortverhältnissen zu prüfen, erfolgte 2007 die Pflanzung eines Versuches am Standort Dornburg. Ziel war es, den optimalen Erntetermin hinsichtlich Ertragshöhe und Silierfähigkeit zu bestimmen.

Es zeigte sich, dass die Sida den für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalt von ca. 28 % in manchen Jahren bereits im Juli erreichte. In 2008 und 2010 war der Wert von 35 % TS, ab dem das Erntegut für die Silierung zu trocken wird, schon im August überschritten. Die laut Versuchsplan angestrebten TS-Gehalte zur Ernte konnten in keinem der Jahre eingehalten werden (Tab. 17), zumal die morphologischen Merkmale der Pflanze kaum Rückschlüsse auf den Reifegrad ermöglichen.

Tabelle 17: Einfluss des Erntetermins auf den TS-Gehalt von Sida, VS Dornburg 2007 bis 2010

Prüfglied	Erntetermin				TS-Gehalt (%)			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
1. Erntetermin (bei 25 % TS)	04.09.	11.08.	03.07.	20.08.	24,9	37,3	26,5	32,1
2. Erntetermin (bei 28 % TS)	13.09.	28.08.	10.07.	28.08.	32,0	37,5	26,6	38,0
3. Erntetermin (bei 30 % TS)	01.10.	27.08.	06.08.	02.09.	30,5	40,3	33,4	39,7
GD t, 5 %					3,5	1,6	3,6	5,3

Diese zeitige Abreife und die damit erforderliche frühe Ernte lässt sich bei einem Praxisanbau relativ schlecht in die technologischen Betriebsabläufe einordnen. Ein zweiter erntewürdiger Aufwuchs war ebenfalls nicht zu verzeichnen.

Im Anpflanzjahr waren Wuchshöhe und Biomassebildung der Sida erwartungsgemäß gering. Ab dem zweiten Standjahr wurden die Pflanzen mit ca. 200 cm zwar deutlich höher, der Ertrag entsprach aber mit maximal 88 dt TM/ha im dritten Jahr nicht den Erwartungen (Tab. 18). Der Ertragsabfall im Jahr 2010 resultiert aus starken Auswinterungsverlusten im Winter 2009/10, den nur ca. 50 % der ursprünglich etablierten Pflanzen überlebten.

Tabelle 18: Einfluss des Erntetermins auf Wuchshöhe und Ertrag von Sida, VS Dornburg 2007 bis 2010

Prüfglied	Wuchshöhe (cm)				Ertrag (dt TM/ha)			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
1	119	201	174	184	23,8	49,8	33,4	34,1
2	127	217	203	201	31,8	48,3	68,6	37,0
3	129	213	245	184	29,3	70,6	87,8	29,6
GD t, 5 %	6,0	17,8	33,0	13,3	4,7	12,1	25,0	14,0

Pflanzenmaterial der Ernte 2010 wurde hinsichtlich seines Biogas- und Methanbildungspotenzials im HBT untersucht. Trotz der teilweise zu späten Ernte ergaben sich Biogaswerte von 525 NI/kg oTS beim ersten Erntetermin, von 508 NI/kg oTS beim zweiten und von 510 NI/kg oTS bei der spätesten Ernte. Die Methangehalte im Biogas variierten geringfügig zwischen 58,6 und 59 %, woraus Methanausbeuten von ca. 300 NI/kg oTS bei allen Ernteterminen resultierten.

Aufgrund der geringen Erträge und der Problematik der mangelnden Winterfestigkeit ist der Versuch nach dem 4. Standjahr beendet worden. Gegenwärtig laufen in einigen Einrichtungen Arbeiten zur Erzeugung gesunden, leistungsfähigen Pflanzgutes. Dieses sollte in zukünftigen Versuchen in Thüringen gegebenenfalls erneut zur Prüfung kommen.

Topinambur

Topinambur (*Helianthus tuberosus*) bildet eine üppige oberirdische Biomasse und inulinhaltige Speicherorgane, die im Boden gut überwintern, was eine ein- oder mehrjährige Nutzung der Pflanze ermöglicht.

In der Versuchsstation Dornburg kam von 2003 bis 2005 ein Versuch zur Bestimmung des optimalen Erntetermins von Topinambur zur Nutzung von Kraut und Knolle für die Silierung zur Anlage. Dabei wurden fünf Sorten, zwei davon nur einjährig, von Ende September bis Mitte November wöchentlich beerntet und die Erträge von Kraut und Knolle ermittelt.

Es zeigte sich, dass es einen optimalen Termin für die Nutzung von Kraut und Knolle nicht gibt. Die Krauterträge waren Ende September am höchsten. Hier lag auch der TS-Gehalt mit Werten zwischen 30 und 33 % auf einem für die Silierung günstigen Niveau. Mit zunehmender Reife des Krautes und dem damit verbundenen Blattfall sanken die Erträge stetig ab und die TS-Gehalte stiegen auf Werte über 35 %. Zum optimalen Termin für die Krauternte waren die Knollen noch wenig entwickelt und wiesen nur sehr geringe Erträge zwischen 20 und 40 dt TM/ha auf. Mit zunehmendem Absterben der oberirdischen Masse erhöhten sich die Knollenerträge bis November auf 80 bis 100 dt TM/ha (Abb. 12).

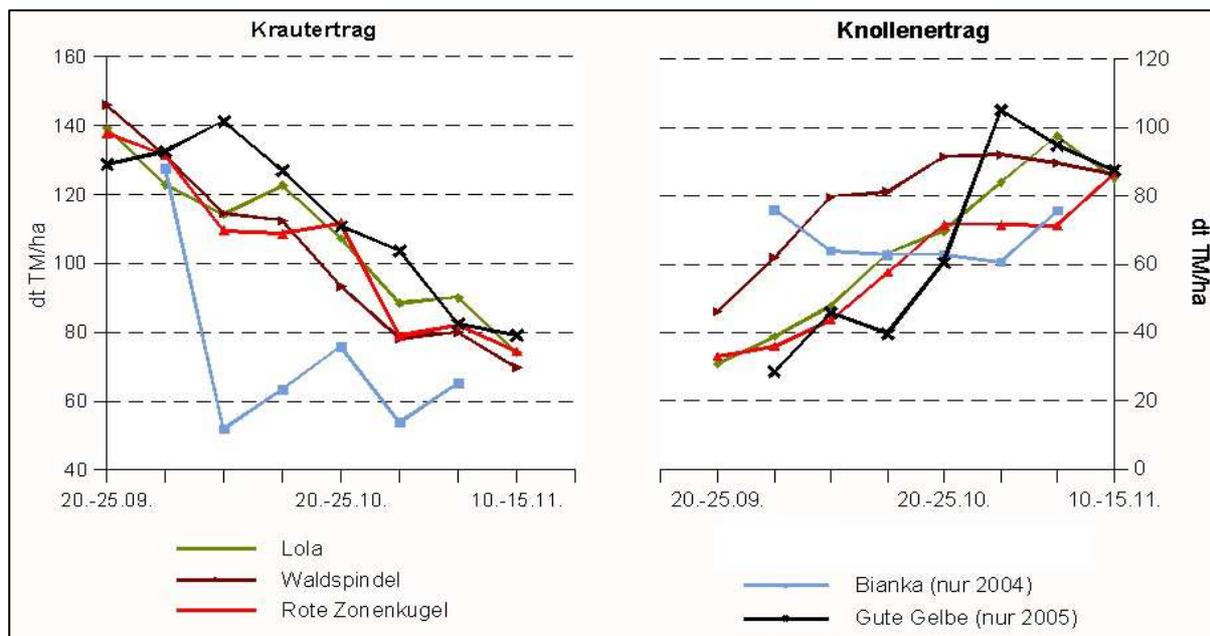


Abbildung 12: Einfluss des Erntetermins auf die Entwicklung von Kraut- und Knollenertrag von Topinambursorten, VS Dornburg 2003 bis 2005, *Quelle: Biertümpfel, 2013*

Der TS-Gehalt der Knollen lag bei allen Ernteterminen zwischen 20 und 30 % und änderte sich über die gesamte Erntezeitspanne nur unwesentlich. Als Kompromiss für die Biogasnutzung könnte ein Erntetermin Mitte Oktober anvisiert werden, bevor durch das Krautabsterben viel Masse verloren geht, die Knollen aber bereits weitgehend ausgebildet sind. Hinsichtlich der Erträge unterschieden sich die geprüften Sorten nur geringfügig. Allein die niedrige Sorte „Bianka“ dürfte für eine Krautnutzung ungeeignet sein.

Die in diesem Versuch erzielten Ergebnisse bestätigten sich in den im Rahmen des Verbundvorhabens „Energiepflanzen für die Biogasproduktion“, Teilvorhaben 2 „Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor“ mehrortig durchgeführten Energiepflanzenanbauvergleichen von 2004 bis 2006. Problematisch bei der Nutzung der unregelmäßig geformten Knollen dürfte auch die anhaftende Erde sein, die zu einem hohen Silikateintrag in die Biogasanlage führen könnte. Ein Waschen der Knollen ist, vor allem bei den bindigen Thüringer Böden, ökonomisch sicher nicht sinnvoll.

Neben der einjährigen Nutzung von Kraut und Knolle wurde hier auch ein mehrjähriger Anbau von Topinamburkraut geprüft. Dieser ist jedoch aufgrund der bereits nach zwei Anbaujahren einsetzenden Ertragsdepression und der geringen Methanausbeuten von ca. 260 NI/kg oTS des Topinamburkrautes nicht zu empfehlen.

Durchwachsene Silphie

Auch die Durchwachsene Silphie gehört zu den Korbblütlern und wurde bereits in den 1980er Jahren als Futterpflanze geprüft. Aus dieser Zeit war bekannt, dass die Pflanze hohe Biomasseerträge bildet und eine gute Siliereignung besitzt, so dass durchaus eine Nutzung als Kosubstrat in Betracht kam.

Die TLL begann 2004 mit der Bearbeitung dieser Fragestellung, indem die Silphie in einen Vergleich unterschiedlicher potenzieller Kosubstratpflanzen einbezogen worden ist. Nach positiven Ergebnissen wurden die Untersuchungen seit 2007 im Rahmen unterschiedlicher, vom BMELV geförderter Forschungsprojekte intensiviert. Ziel der Arbeiten war und ist es, das Ertragspotenzial der Silphie bei langjähriger Nutzung zu definieren sowie ein Anbauverfahren zu erarbeiten und zu optimieren.

Im Ergebnis der langjährigen Versuche in Dornburg und Heßberg zeigte sich, dass die Silphie dem Mais in ertraglicher Hinsicht durchaus ebenbürtig ist und nach bisher achtjähriger Nutzung kein Ertragsrückgang eingesetzt hat (Abb. 13).

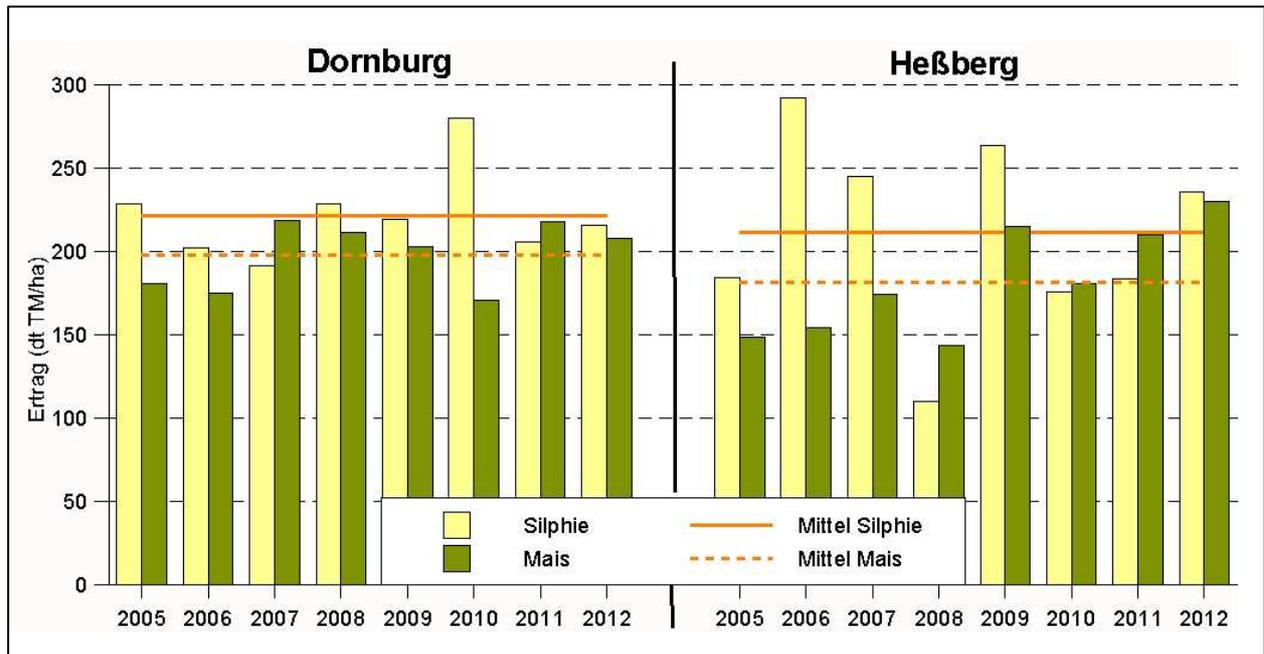


Abbildung 13: Ertrag von Durchwachsener Silphie im Vergleich zu Mais (Dornburg: Silomais „Atletico“, Heßberg: 0 LSV Silomais) bei Ernte zum optimalen Termin, VS Dornburg und Heßberg 2005 bis 2012, Quelle: Biertümpfel, 2013

Problematisch beim Anbau der Durchwachsenen Silphie ist die Bestandesetablierung, die bisher hauptsächlich im Pflanzverfahren erfolgte. Dies war zum einen der Keimbologie der Pflanze, deren Samen eine strenge Dormanz (Keimhemmung) aufweisen und zum anderen der begrenzten Saatgutverfügbarkeit geschuldet. Für beide Probleme konnten in Zusammenarbeit mit der Erfurter Samen- und Pflanzenzucht GmbH N.L. Chrestensen Lösungen gefunden werden, so dass das Hauptaugenmerk der Arbeiten gegenwärtig auf der Erarbeitung und Erprobung eines praxistauglichen Säverfahrens liegt. Erste Praxisbestände im Umfang von insgesamt ca. 10 ha sind 2012 im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsvorhabens des Freistaates in Thüringen etabliert worden.

Wie die meisten der bisher vorgestellten alternativen Kofermente erreicht auch die Silphie nicht die Methanausbeuten von Mais. Im Durchschnitt aller bisher im HBT untersuchten Proben liegen die Werte bei 278 NI/kg oTS, mit relativ großen Schwankungen nach oben und unten. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten besteht deshalb in der Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes für maximale Methanerträge je Flächeneinheit. Dazu erfolgten seit 2010 jeweils von Ende Juli bis Ende September Probeernten im 7- bis 14-tägigen Abstand. Vom ersten zum zweiten Erntetermin war in allen Jahren noch ein signifikanter Zuwachs im Biomasseertrag zu verzeichnen. Danach stieg der Ertrag tendenziell noch bis Anfang September, um dann ab Mitte September wieder signifikant zu sinken, was mit dem zunehmenden Blattverlust der abreifenden Pflanzen zu erklären ist. Proben aller Prüfglieder wurden im HBT untersucht. In Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass die Methanausbeute zum frühesten Erntetermin am höchsten war und dann tendenziell absank. Durch die Zunahme des Biomasseertrages blieb der theoretische Methanertrag bis in die erste Septemberdekade auf hohem Niveau. Unter Berücksichtigung der TS-Gehalte, die für eine sichere und verlustarme Silierung erforderlich sind, ergibt sich ein optimales Erntefenster für die Silphie zwischen Mitte August und Anfang September, also zu Beginn der Silomaisernte. In Abbildung 14 sind die Ergebnisse am Beispiel des Jahres 2011 dargestellt.

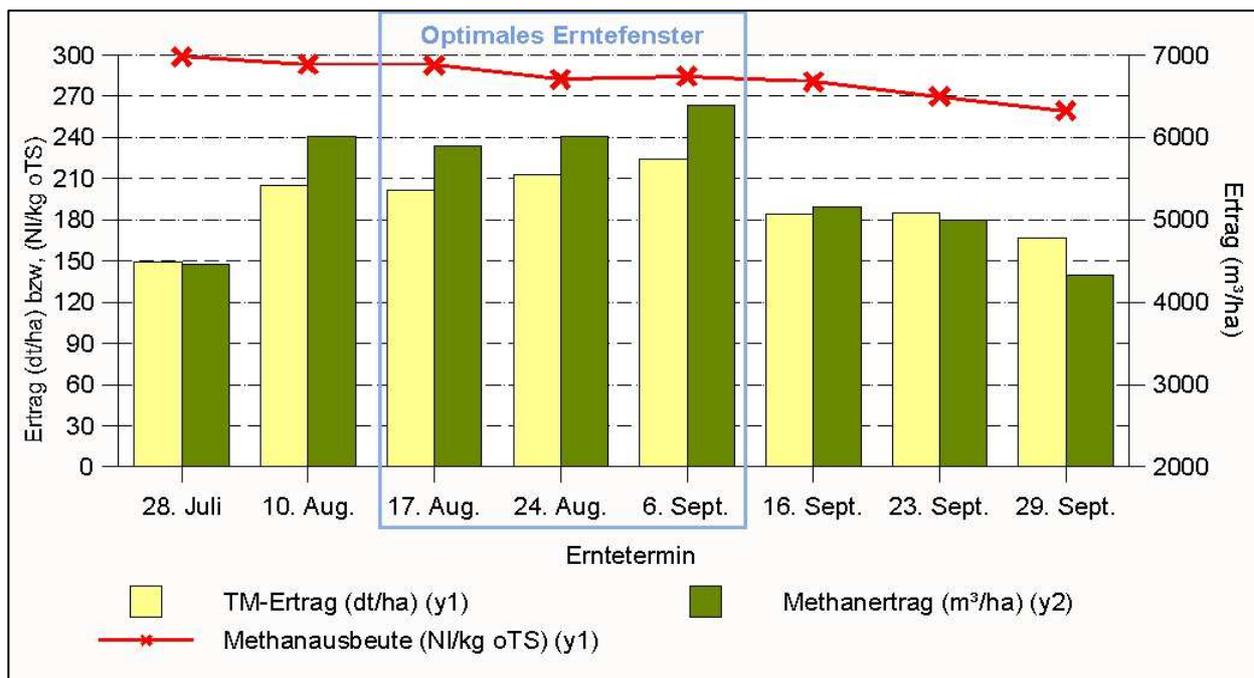


Abbildung 14: Einfluss des Erntetermins auf TM-Ertrag, Methanausbeute und -ertrag von Silphie, VS Dornburg 2011, Quelle: *Biertümpfel*, 2013

Gegenwärtig beläuft sich der Anbauumfang der Silphie bundesweit auf ca. 300 ha mit weiterhin steigender Tendenz. Dies ist neben den hohen Erträgen sicherlich auch den ökologischen Vorteilen der Durchwachsenen Silphie, wie z. B. der Aufwertung des Landschaftsbildes, der Erhöhung der Biodiversität, der ganzjährigen Bodenbedeckung und der damit verbundenen Verminderung der Erosionsgefahr sowie der Eignung der Pflanze als Pollen- und Nektarspender für zahlreiche Insekten, darunter auch Honigbienen, geschuldet.

Sorghumhirsen

Untersuchungen zu Anbaueignung und Ertrag verschiedener Sorghumarten und -sorten werden seit 2004 im Rahmen von bundesweiten Verbundvorhaben an unterschiedlichen Thüringer Standorten durchgeführt. So kam von 2008 bis 2010 in Heßberg und Friemar eine Sortenprüfung zur Anlage. Diese beinhaltete, neben Silomais als Vergleichsfrucht, sowohl Sorghum sudanense-Hybriden (Sudangras) als auch Sorghum bicolor-Typen (Futter- bzw. Zuckerhirse). An beiden Orten schnitten die Hirsen in den drei Versuchsjahren im Mittel der Sorten schlechter ab als der Mais, wobei einzelne Sorten, wie z. B. „Lussi“ im Jahr 2008, „Goliath“, „Sucrosorgho 506“ und „Zerberus“ in 2009 in Friemar durchaus das Niveau der Maiserträge aufwiesen. Allerdings erreichten insbesondere in Heßberg nur wenige Sorten den für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalt von 28 % (Tab. 19).

Tabelle 19: TS-Gehalt und Ertrag verschiedener Hirsearten und -sorten im Vergleich zu Mais, VS Heßberg und VS Friemar 2008 bis 2010

Sorte	TS-Gehalt (%)						TM-Ertrag (dt/ha)					
	Friemar			Heßberg			Friemar			Heßberg		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
NK Magitop	43,9	34,0	25,6	29,7	33,6	25,8	211,8	189,4	161,0	126,5	224,6	155,1
Atletico	42,7	33,0	24,6	29,0	31,8	25,7	174,9	239,0	187,2	148,1	247,4	179,4
0 Mais							193,4	214,2	174,1	137,3	236,0	167,2
Lussi	35,7	-	30,8	34,6	-	31,6	219,0	-	168,7	123,8	-	169,2
Susu	26,7	22,7	21,2	24,8	24,1	20,4	144,8	118,6	110,5	107,4	153,6	106,4
King 61	28,8	-	-	24,5	-	-	113,0	-	-	98,8	-	-
Bovital	29,4	25,1	-	27,0	26,9	-	127,9	133,5	-	99,3	168,0	-
Gardavan	32,7	23,6	-	28,8	24,1	-	122,9	130,1	-	93,4	142,3	-
True	-	26,8	-	-	28,1	-	-	94,9	-	-	123,1	-
KWS Inka	-	22,3	21,9	-	-	21,6	-	144,2	159,5	-	-	119,7
Super Dolce 15	-	22,4	23,1	-	24,0	21,9	-	134,7	142,9	-	152,6	136,4
Nutri Honey	-	-	23,3	-	-	21,3	-	-	154,6	-	-	134,6
Jumbo	-	-	17,1	-	-	15,8	-	-	116,1	-	-	101,8
BMR 201	-	-	19,0	-	-	-	-	-	82,4	-	-	-
0 Sudangras							145,5	128,6	133,5	104,5	150,8	128,0
Goliath	27,0	27,4	20,8	22,3	23,6	19,0	93,9	192,4	130,6	131,0	196,1	129,2
Super Sile 20	23,8	22,6	18,5	19,6	19,9	19,8	86,8	121,8	92,5	85,3	96,9	94,8
Sucrosorgho 506	22,9	24,7	19,6	18,6	20,4	18,2	102,2	199,6	126,4	117,1	180,2	147,0
Rona 1	26,5	21,8	20,8	20,5	20,7	19,4	88,7	149,0	79,8	85,9	98,0	96,2
Super Sile 18	26,0	-	-	20,8	-	-	98,0	-	-	79,8	-	-
KWS Zerberus	-	30,8	23,6	-	-	23,0	-	209,5	121,2	-	-	155,3
KWS Maja	-	32,7	24,3	-	-	23,5	-	160,2	94,7	-	-	101,9
Herkules	-	27,0	20,9	-	-	19,3	-	167,6	109,7	-	-	130,9
0 Zuckerhirse							93,9	171,4	107,8	99,8	142,8	122,2

Seit 2011 wird der Sortenversuch an den Standorten Friemar und Dornburg weitergeführt, da Heßberg als Vorgebirgsstandort für den Hirseanbau, zumindest mit dem derzeit zur Verfügung stehenden Sortenspektrum, nicht geeignet ist.

Allerdings erreichten die Hirsen auch an diesen beiden Thüringer Gunststandorten das Ertragsniveau des Mais nicht. Trotz der für Sorghum günstigen warmen, trockenen Witterung im Herbst beider Jahre und einem deutlich späteren Erntetermin blieben die TS-Gehalte aller Sorghum bicolor-Sorten unter dem kritischen TS-Wert von 28 %. Dieser wurde nur von den Sudangras-Hybriden erreicht. Abbildung 15 verdeutlicht dies am Beispiel des Jahres 2012 für den Standort Dornburg.

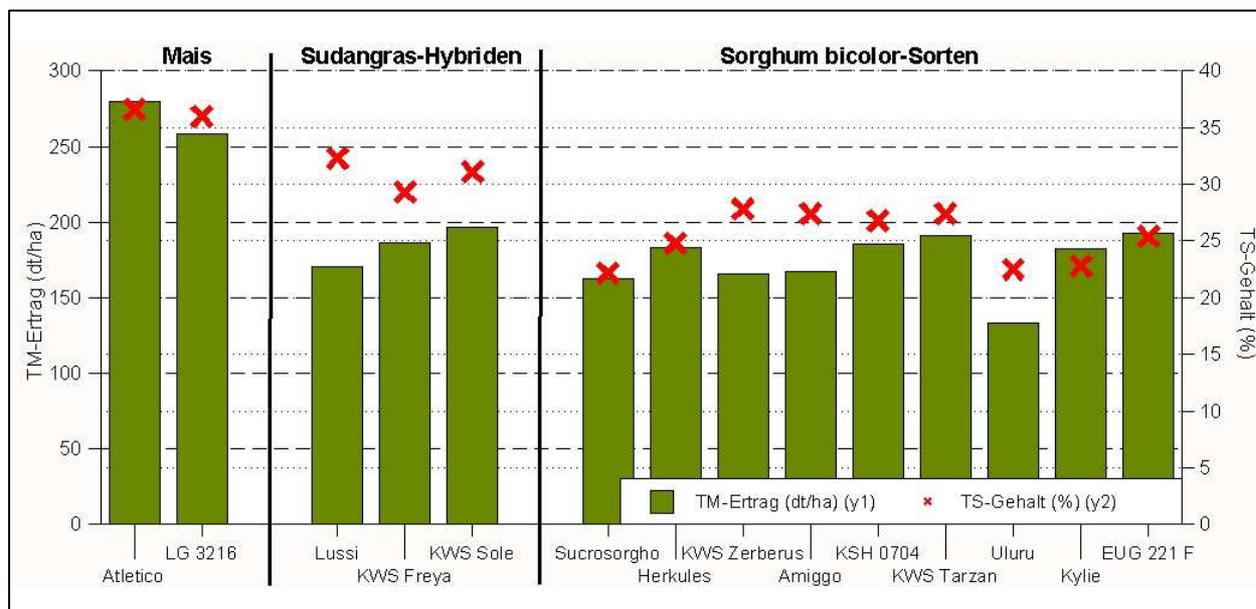


Abbildung 15: TM-Ertrag und TS-Gehalt von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais, VS Dornburg 2012,,
Quelle: *Biertümpel*, 2013

Als Vorteil der Sorghumhirsen gegenüber Mais wird oftmals deren bessere Spätsaatverträglichkeit und damit ihre Eignung für den Zweitfruchtanbau angeführt. Zu dieser Fragestellung kam von 2008 bis 2010 in der Versuchsstation Kirchengel ein Versuch zur Anlage, in dem die Sudangrashybride „Lussi“ und die Futterhirse „Goliath“ im Vergleich zur Silomaisorte „Magitop (S 240)“ bei gestaffelten Aussaatterminen von Ende April/Anfang Mai bis Mitte Juli geprüft worden sind. Leider liegen aufgrund einer Verwechslung des Saatgutes im Züchterhaus für 2009 keine Ergebnisse zum Sudangras „Lussi“ vor. Bei dem Versuch ist zu beachten, dass die Bodentemperatur für die Keimung der Hirsen mindestens 12 °C betragen sollte. Diese Temperatur wird in Thüringen in der Regel erst im Mai erreicht, so dass der erste Saattermin für die Hirsen eigentlich zu früh war.

Während 2008 der Mais und beide Hirsesorten den höchsten Ertrag bei der frühesten Aussaat erreichten, blieb der Ertrag der Hirse „Goliath“ 2009 bis zur Aussaat Ende Mai auf etwa dem gleichen Niveau, wobei der Saattermin Mitte Mai etwas besser abschnitt. Dabei lag die Hirse im Gegensatz zu 2008 in ertraglicher Hinsicht über dem Mais. Dies bestätigte sich auch in 2010.

Tabelle 20: TM-Ertrag (dt/ha) von Mais „Magitop“, Sudangras „Lussi“ und Hirse „Goliath“ in Abhängigkeit vom Aussaattermin, VS Kirchengel 2008 bis 2010

Aussaattermin	Magitop			Lussi		Goliath		
	2008	2009	2010	2008	2010	2008	2009	2010
Ende April/Anfang Mai	131,7	111,6	82,6	120,7	115,9	152,4	152,3	136,2
Mitte Mai	133,4	92,3	89,8	99,1	134,7	96,6	192,5	164,8
Ende Mai/Anfang Juni	86,3	79,7	77,3	86,2	111,2	75,1	154,4	107,0
Mitte Juni	79,5	83,8	67,1	75,3	103,6	56,5	127,7	97,9
Ende Juni	48,6	52,0	42,9	34,6	73,3	45,7	100,6	82,9
Mitte Juli	16,7	-	-	19,1	-	13,5	-	-

Problematisch war bei den Hirsen wiederum der TS-Gehalt, der bei „Goliath“ 2008 und 2010 sogar bei den frühesten Saatterminen nicht über 26 % anstieg (Tab. 21). Ab der Aussaat Ende Mai kam auch der Mais nicht auf die für die Silierung geforderten TS-Gehalte, was jedoch bei einer Reifezahl von S 240 auch nicht zu erwarten war.

Tabelle 21: TS-Gehalt (%) von Mais „Magitop“, Sudangras „Lussi“ und Hirse „Goliath“ in Abhängigkeit vom Aussaattermin, VS Kirchengel 2008 bis 2010

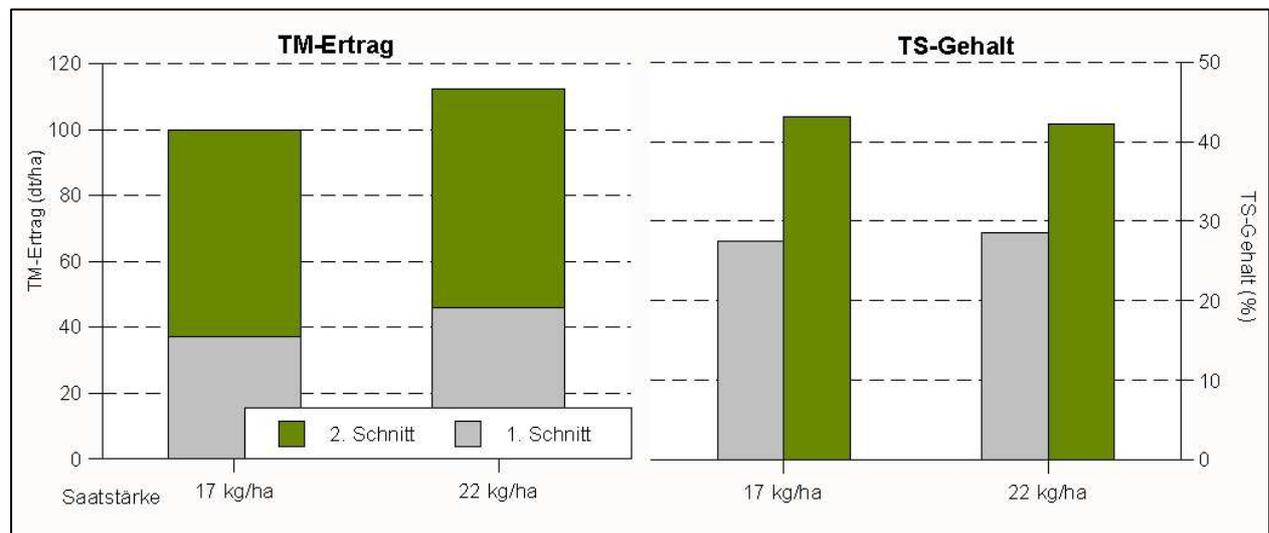
Aussaattermin	Magitop			Lussi		Goliath		
	2008	2009	2010	2008	2010	2008	2009	2010
Ende April/Anfang Mai	31,5	30,1	27,8	35,8	29,2	25,7	25,9	21,4
Mitte Mai	29,5	30,4	25,1	32,3	28,0	22,3	27,8	21,6
Ende Mai/Anfang Juni	20,6	24,7	21,0	31,2	24,3	20,2	23,5	19,3
Mitte Juni	18,5	23,6	19,1	25,1	23,2	18,6	21,4	18,2
Ende Juni	16,9	17,9	17,0	18,0	20,9	14,8	18,3	16,4
Mitte Juli	14,0	-	-	17,1	-	15,1	-	-

Im Ergebnis der bisherigen Untersuchungen ist einzuschätzen, dass unter den angebotenen Sorghumsorten für Thüringer Standortverhältnisse am ehesten Sudangras-Hybriden zu empfehlen sind, da diese in der Regel etwas frühreifer sind als die reinen Sorghum bicolor-Typen und so den für eine sichere Silierung erforderlichen TS-Gehalt erreichen können. Aber auch diese eignen sich nur für die wärmeren Standorte und sollten nicht später als im Mai gesät werden, da es sonst ebenfalls zu Problemen bei der Silierung kommen kann.

Für den Anbau von Sorghumhirse spricht das geringere Auftreten von Schädlingen, da der Maiszünslerbefall meist gering ist bzw. z. T. durch die Bestockung wieder ausgeglichen wird und die Hirse keine Wirtspflanze des Maiswurzelbohrers ist. Außerdem sind keine Fraßschäden durch Wildschweine zu befürchten.

Szarvasigras

Zum ungarischen Riesenweizengras (*Elymus elongatus*) Szarvasi 1, einer ausdauernden horstbildenden Art mit mehrschnittiger Nutzung, wurden insbesondere von der bayerischen Versuchsstation Triesdorf Erträge und Methanausbeuten auf Maisniveau publiziert.


Abbildung 16: Ertrag und TS-Gehalt von Szarvasigras in Abhängigkeit von der Saatstärke im ersten Nutzungsjahr, VS Dornburg 2012, Quelle: Biertümpfel, 2013

Ein erster Versuch mit zwei Saatstärken kam im September 2011 in Dornburg zur Anlage. Der Bestand erreichte Mitte Juni und Mitte September 2012 die Schnittrife und wies zu diesem Zeitpunkt Wuchshöhen zwischen 100 und 140 cm auf. Die kumulierten Erträge des ersten Erntejahres beliefen sich auf 99,9 dt TM/ha bei der niedrigeren Saatstärke und 112,4 dt TM/ha bei der höheren (Abb. 16). Der Ertragsanstieg vom ersten zum zweiten Schnitt deutet darauf hin, dass die Erträge im zweiten Nutzungsjahr weiter ansteigen könnten. Ergebnisse zu den Biogas- und Methanausbeuten liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor, werden aber zeitnah erarbeitet.

Zusammenfassung

Insgesamt ist einzuschätzen, dass keine der geprüften alternativen Energiepflanzen für den Biogasbereich den Mais bezüglich ihrer Methanerträge je Flächeneinheit übertrifft. Hier widerspiegelt sich auch der Fortschritt jahrzehntelanger intensiver Züchtungsarbeiten, die bei Mais durchgeführt wurden und werden.

Von den vorgestellten Arten sind am ehesten die Durchwachsene Silphie und die Sorghumhirsen in der Lage, den Mais in der Biogasanlage wirtschaftlich sinnvoll zu ergänzen. Insbesondere mit letztgenannter Art beschäftigen sich einige Züchterhäuser seit einigen Jahren intensiver, was sich in einem zunehmend breiteren Sortenspektrum niederschlägt. Auch bei der Silphie wurden 2010 erste Selektionsarbeiten zur Auslese verbesserten Pflanzenmaterials mit hohem Biomassertrag und hohen Methanausbeuten begonnen. Zudem besteht hier im Anbauverfahren noch erhebliches Potenzial zur Kostensenkung und zur Optimierung der Gasausbeuten je Flächeneinheit.

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wird sich auch zukünftig mit den alternativen Energiepflanzen beschäftigen. Dazu begann 2013 das Landesforschungsprojekt „Prüfung der Anbau- und Verwertungseignung alternativer Biogaspflanzen unter Thüringer Bedingungen“, in dem u. a. die Prüfung von Blütmischungen, die Weiterführung der Versuche zu *Igniscum*® und die Intensivierung der Untersuchungen zu Szarvasigras vorgesehen sind. Zudem werden in das Projekt die Ergebnisse der im Bereich der Drittmittelforschung angesiedelten Aktivitäten Thüringens, z. B. zu Durchwachsener Silphie und Sorghumhirsen sowie die im Rahmen der Kooperation der Landesanstalten im Bereich Pflanzenbau, AG „Kleine und mittlere Kulturen“, laufenden Arbeiten einfließen. Ziel ist es, verlässliche Aussagen zu Anbaueignung, Biomassertrag und Gasausbeuten unter Thüringer Standortbedingungen zu treffen und damit die Grundlage für beratungsfähiges Wissen für die Thüringer Landwirtschaft zu schaffen.

7. Gärresteverwertung in Thüringen (Merkblatt)

7.1 Gärrest

7.1.1 Anfall

Jährlich werden in den Thüringer Biogasanlagen rund 2,57 Mio. m³ flüssiger und 0,31 Mio. t feste Wirtschaftsdünger, Feldfrüchte von 40.000 ha (Mais 20 Tsd. ha, Getreide 12,8 Tsd. ha, AWS 6,6 Tsd. ha, ...) und ca. 0,165 Mio. t Bioabfälle vergoren. Insgesamt kommen somit ca. 55 % der flüssigen und fast 20 % der festen Wirtschaftsdünger sowie 0,95 Mio. t Feldfrüchte für die regenerative Energieerzeugung zum Einsatz.

In Thüringen ergibt sich hieraus ein Anfall von 3,5 Mio. m³ Biogasgülle bzw. Gärrest, der zu 18 % aus Feldfrüchten, zu 78 % aus Wirtschaftsdünger und zu 4 % aus Bioabfällen besteht. Insgesamt steigt auch unter Beachtung des Masseabbaus während der Vergärung bei konstantem Tierbesatz somit der Wirtschaftsdüngeranfall um ca. 12 % in Thüringen auf 7,2 Mio. m³/a. Auch aufgrund der vorrangig eingesetzten Nassvergärungsverfahren und der in Thüringen in Anbetracht des geringen Tierbesatzes kaum praktizierten Gärrestaufbereitung ist einzuschätzen, dass der als Stallmist anfallende Wirtschaftsdüngeranteil weiter zurückgehen wird.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und besonders dessen Novellen in 2004 und 2009 führten dazu, dass durch die Anreize zum Einsatz von Wirtschaftsdüngern und nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) zunehmend Biogasgülle und Gärreste neben den klassischen tierischen Wirtschaftsdüngern anfallen. Diese haben im Vergleich zu unvergorenen Wirtschaftsdüngern veränderte physikalische und chemische Eigenschaften, die der Landwirt kennen und durch erforderliche Anpassungen in der Düngungspraxis beachten sollte.

7.1.2 Rechtliche Einordnung von Gärresten

In Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten ist die landwirtschaftliche Verwertung der bei der Biogasproduktion entstandenen Wirtschaftsdünger bzw. organischen Dünger unterschiedlichen Rechtsrahmen unterworfen. Mit dem Gesetz zur Neuordnung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallrechts vom 24.02.2012 unterliegt Gülle, die in einer Biogasanlage verwendet wird, dem Geltungsbereich des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG). Nach Aussagen des BMU fällt Gülle nicht automatisch als Abfall an. Erst durch Zuführung zur BGA unterliegt sie dem Abfallrecht. Für die praktische Umsetzung werden durch diese Regelungen jedoch schwierige Fragen aufgeworfen, die zurzeit noch nicht endgültig geklärt sind. Sie betreffen neben Anforderungen an den Bau der Biogasanlagen, besonders den Transport zur Biogasanlage, einschließlich Fragen der Anzeigepflicht und Fahrzeugkennzeichnung sowie Anforderungen an die Lagerung. Die rechtliche Einordnung von Gärresten als Biogasgülle und anderen Gärprodukten aus der Biogasproduktion hängt vom Substrateinsatz ab (Tab. 22).

Das Abgeben von Gärresten zur Düngung an juristisch selbstständige Landwirtschaftsbetriebe ist als Inverkehrbringen im Düngegesetz (DüG) definiert. Die Düngemittelverordnung (DüMV) regelt die Qualitätsanforderungen und die Kennzeichnungspflichten für Wirtschaftsdünger sowie organische Dünger. Die Überwachung der Einhaltung düngerechtlicher Normen erfolgt in Thüringen durch die Düngemittelverkehrskontrollstelle der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL).

Tabelle 22: Rechtliche Rahmenbedingungen

(Quelle: Merkblatt Rechtsgrundlagen für den Einsatz von Biogasgülle...; 2010 ergänzt)

Nr.	1	2	3
Vergärung von Einzelstoffen oder deren Gemischen aus	Festmist, Gülle, landwirtschaftlich erzeugter pflanzlicher Biomasse (NAWARO)	Stoffe nach Nr. 1 und sonstig erzeugter pflanzlicher Biomasse*, Bioabfällen pflanzlicher Herkunft	Stoffe nach Nr. 2 und Bioabfällen tierischer Herkunft (tierische Nebenprodukte Kategorie 2 und 3 nach Verordnung (EG 1069/2009))
Beispiele	Rinder- u. Schweinegülle, Pferdemist, Hühnertrockenkot, Maissilage, Getreide, ...	Stoffe nach Nr. 1 und Kartoffelschalen, Melasse, Obsttrester, Zuckerrübenschnitzel, Schnittblumen, ...	Stoffe nach Nr. 2 und Tierkörperreste, Darminhalt, Blut, Schwarzen, Rohmilch, Küchen- und Speiseabfälle, Schlachtabfälle, ...
Düngemittelrechtliche Einstufung	Wirtschaftsdünger	Organischer NPK-Dünger	
Bezeichnung	Biogasgülle	Gärrest	
Zutreffender Rechtsrahmen	DüMV	x	x
	BioAbfV	-	x
	EG-VO 1069/2009	Artikel 15**	Artikel 5 (1) Artikel 6 (1)

* einschließlich rein pflanzliche Nebenprodukte nach EEG (2009) Anlage 2 Nr. V

** Zulassung durch Thüringer Landesverwaltungsamt (TLVWA)

Die Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 enthält Regelungen in Bezug auf die Produkthygiene für die Behandlung und Verwendung von Substraten tierischen Ursprungs. Eingeschlossen sind auch die tierischen Wirtschaftsdünger. Durch die Gleichsetzung von behandelten und unbehandelten Wirtschaftsdüngern werden die Anforderungen im Vergleich zu anderen Substraten tierischen Ursprungs deutlich reduziert. Allerdings wird durch die teilweise Aufhebung der Regelungen des tierischen Nebenproduktegesetzes (vgl. § 2, Absatz 2, Nummer 2 KrWG) Gülle, die in einer BGA verwendet findet, in den Geltungsbereich des KrWG gestellt.

Ungeachtet dessen unterliegen Biogasgülle/Gärreste nach der Passage der Biogasanlage wieder der Einstufung als Wirtschaftsdünger.

Weiter ist zu beachten, dass grundsätzlich die Aufzeichnungs-, Melde- und Mitteilungspflicht für alle in Thüringen wirtschaftenden Betriebe gilt, die Wirtschaftsdünger abgeben bzw. verkaufen.

Ausnahmen hierbei gelten für Wirtschaftsdüngertransport zwischen zwei Betrieben desselben Verfügungsberechtigten bei Entfernungen von max. 50 km, für Betriebe die der Düngerverordnung unterliegen und keine Nährstoffvergleiche erstellen müssen und deren Nährstoffmenge 500 kg N/a nicht überschreitet, Betriebe die weniger als 200 t Wirtschaftsdüngerfrischmasse /a abgeben und die Inverkehrbringung von Kleinverpackungen unter 50 kg an nicht gewerbemäßige Endverbraucher. Weitergehende Informationen sind den „Hinweisen zur Umsetzung der „Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger“ von 21.7.2010 zu entnehmen. (<http://www.tll.de/ainfo/pdf/widuu1110.pdf>)

7.1.3 Eigenschaften von Gärresten

Trockenmasse- und Nährstoffgehalte

Die Eigenschaftsänderungen der Biogasgülle (TS-Abbau, N-Mineralisierung, Geruchsabbau, Hygienisierung, ...) im Vergleich zum Ausgangssubstrat verstärken sich mit zunehmendem Abbau der organischen Substanz, die im Einzelnen durch verlängerte Verweilzeit des Substrates in der Biogasanlage bzw. durch steigende Reaktionstemperaturen bestimmt werden. Demgegenüber schwächen eine steigende Reaktorbelastung (gemessen in kg organische Trockensubstanz pro m³ Reaktorvolumen und Tag) und eine verkürzte Verweilzeit die Eigenschaftsänderungen ab.

Im Rahmen eines Monitorings in Thüringer Biogasanlagen wurden bei 125 Anlagen alle Eingangssubstrate und Gärreste analysiert. Bei Vergleich der Nährstoffgehalte des aus den Einzelsubstraten errechneten Mischsubstraten und des Gärrestes zeigen sich die wesentlichen Eigenschaftsänderungen (Tab. 23).

Tabelle 13: Nährstoffgehalte von Mischsubstrat und Gärrest

Quelle: Monitoring Thüringer BGA 2004 – 2008, n = 125

Parameter	Einheit	Mischsubstrat		Gärrest	
		Mittel	s %	Mittel	s %
TM	%	13,20	37	5,80	29
oTS	% d. TS	81,38	5	71,81	7
pH		6,89	7	7,71	3
Nt	% d. FM	0,50	30	0,43	22
NH ₄ -N	% d. Nt	42,1	37	68,9	21
Corg.	% d. TS	44,1	12	39,2	17
C/N		12	29	5	30
P	% d. FM	0,102	42	0,080	33
K	% d. FM	3,17	29	3,04	27
Mg	% d. FM	0,08	35	0,06	33
S	mg/kg TM	5713	30	7638	67
S	kg/m ³	0,56	33	0,39	34
Zn	mg/kg TM	209	107	620	115
Cu	mg/kg TM	149	252	393	92

Die Konvertierung von organisch gebundenem Kohlenstoff zu Methan führt in den Substraten zu einer deutlichen Reduktion der organischen Trockensubstanz und damit zu einem Masseabbau. Auch sinkt der Anteil organischer Trockensubstanz am Gesamttrockensubstanzgehalt.

Die in den Biogassubstraten vorhandenen Schwermetalle verbleiben in der Biogasgülle. Der Abbau von organischer Trockensubstanz führt zu einer Erhöhung des auf Trockensubstanz bezogenen Schwermetallgehaltes (mg/kg TS). Das ist zur Einhaltung der Grenzwerte für Schadstoffe laut DüMV zu beachten.

C/N – Verhältnis und pH-Wert

Zu beachten ist, dass sich durch den Kohlenstoffabbau eine deutliche Verengung des C/N-Verhältnisses ergibt und dass im Substrat mit steigendem Wirtschaftsdüngeranteil (WD-Anteil) das C/N-Verhältnis sinkt. Dagegen ist bei Biogasgülle unabhängig vom WD-Anteil ein relativ einheitliches C/N - Verhältnis von ca. 5 zu 1 vorhanden.

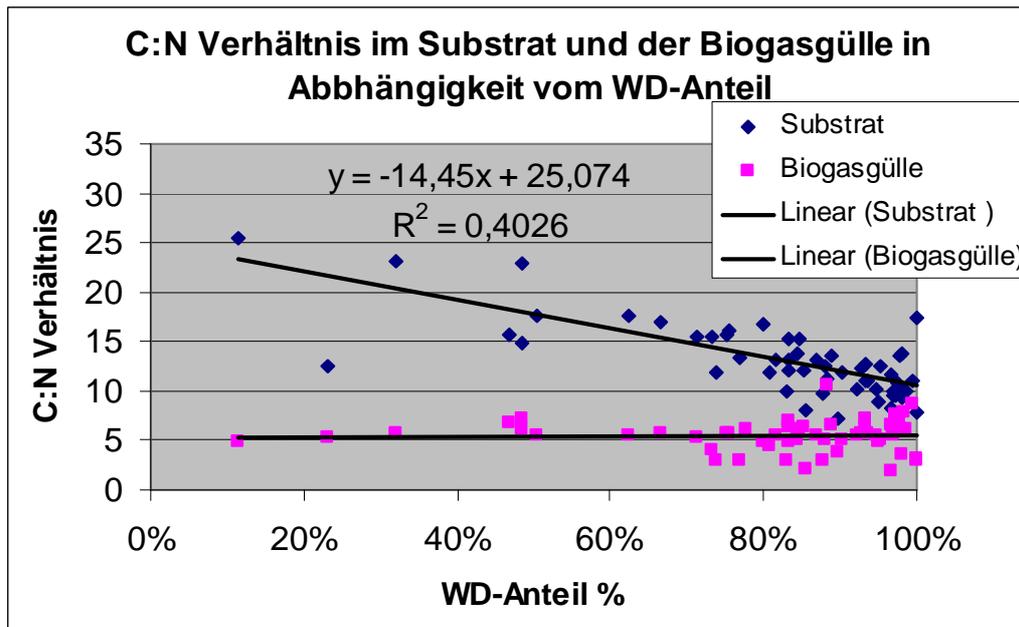


Abbildung 17: C : N Verhältnis in Abhängigkeit vom Wirtschaftsdüngeranteil

Infolge des geringeren Trockensubstanzgehaltes und der besseren Fließfähigkeit ist in Verbindung mit einer geringeren Viskosität ein schnelleres Infiltrieren der flüssigen Wirtschaftsdünger nach der Applikation festzustellen. Die Biogasgülle haftet weniger an den Pflanzen und bietet gute Voraussetzungen zur Vermeidung von Stickstoffverlusten.

Die Verringerung des TS-Gehaltes und besonders das mehrfache Umwälzen der Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage und damit die Lokalisierung und Entfernung von Störstoffen führen zu einer deutlichen Verminderung der Gefahr von technologischen Störungen (Verstopfungen) bei der Ausbringung.

Durch die Biogaserzeugung steigt der pH-Wert der Wirtschaftsdünger vom schwach sauren Niveau (6,5 bis 7) bis in den alkalischen Bereich von 7 bis 8 an. Der Anstieg des pH-Wertes führt infolge der geringeren Löslichkeit von Ammoniak zum Risiko gasförmiger Stickstoffverluste.

Veränderungen der Stickstoffgehalte und Stickstoffbindungsformen

Der Abbau von organischer Substanz und speziell der Eiweißverbindungen bewirkt die Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff. Somit ist mit einer Steigerung des als Ammonium vorliegenden Stickstoffanteils in der Biogasgülle zu kalkulieren (vgl. Tab. 23). Im Mittel findet eine Erhöhung des NH_4 -Anteils am Gesamtstickstoff von 40 bis 50 % auf 55 bis 70 % statt. Daraus resultiert neben einer höheren und kurzfristigen Stickstoffdüngewirkung beim Einsatz von Biogasgülle im Vergleich zu Rohgülle auch die Gefahr erhöhter gasförmiger Stickstoffverluste.

Bezüglich des Gehaltes an Gesamt-N ist zu beachten, dass sich in Abhängigkeit vom pH-Wert (7,5...8,0) und der Temperatur (38 ... 42 °C) während der Fermentation das Lösungs-

gleichgewicht zwischen Ammonium und Ammoniak in Richtung des Ammoniaks verschiebt. Somit liegt ein Übergang von Ammoniak aus dem flüssigen Substrat im Fermenter in die Gasphase in der Größenordnung von 5 bis 15 % vor. Anhand der mittleren Nährstoffgehalte von Gärresten wurde in Thüringen ein N-Verlust von fast 15 % festgestellt.

Ätزشäden und Geruchsabbau

Eine Verringerung der Gefahr von Ätزشäden ist zu erwarten, da ein Abbau von flüchtigen Fettsäuren (C2-C6) erfolgt, der pH-Wert steigt und ein schnelleres Abtropfen der Wirtschaftsdünger von den Pflanzen infolge der Veränderung der Viskosität und des reduzierten TS-Gehaltes zu erwarten ist.

In Abhängigkeit von der Verweilzeit in der Biogasanlage tritt eine deutliche Veränderung der Geruchsintensität und -qualität ein. Besonders bei sehr unangenehm riechenden Wirtschaftsdüngern (z. B. Schweinegülle, Geflügeltrockenkot) ist eine positiv zu bemerkende Veränderung der Geruchszusammensetzung in Richtung eines erdigen, kompostähnlichen Geruchs vorhanden.

Hygienisierungswirkung und Reduktion von Unkrautsamen

Anhand des Monitorings der Thüringer Biogasanlagen 2012 zeigt sich, dass der hygienische Status der flüssigen Gärreste deutlich besser ist als der von Rohgülle. Durch die Vergärung liegt bei der Gesamtkeimzahl eine Reduktion im Mittel um 1 bis 2 Zehnerpotenzen vor. Weiter werden auch die E. coli deutlich um mindestens 3 Zehnerpotenzen bis auf die Nachweisgrenze (100 KBE/g) und die Fäkalstreptococccen um 1 bis 2 Zehnerpotenzen gegenüber den Ausgangssubstraten reduziert. Die Verminderung der Clostridien ist ebenfalls messbar, auch wenn hier geringere Abbauraten vorhanden sind (Tab. 24). Der Vergleich von Stallmist mit den festen Gärresten führt zu ähnlichen Ergebnissen.

Tabelle 24: Ergebnisse zum hygienischen Status von Wirtschaftsdünger und Gärrest (in KBE/g)

	n	Gesamtkeimzahl	Fäkalstreptococccen	E. coli	Clostridien
Gülle	28	115 * 10 ⁶	333 * 10 ³	156 * 10 ³	5.381
Gärrest flüssig	22	3,9 * 10 ⁶	16 * 10 ³	0,2 * 10 ³	1.327
Stallmist	10	946 * 10 ⁶	37 * 10 ³	236 * 10 ³	1.001
Gärrest fest	3	99 * 10 ⁶	15 * 10 ³	0,1 * 10 ³	317

Bereits unter mesophilen Bedingungen ist nach kurzer Einwirkzeit eine Reduktion von Pilzsporen zu erwarten. Wurmeier und Larven werden im mesophilen Temperaturbereich innerhalb weniger Tage und im thermophilen Bereich innerhalb weniger Stunden zerstört.

Die Biogasproduktion führt zu einer deutlichen Verminderung der Unkrautsamen. Dieser Effekt ist umso stärker, je länger die Aufenthaltszeit im Fermenter und je höher die Temperatur liegt.

Methode zur Ermittlung des Masseabbaus sowie der Nährstoffgehalte

Der Abbau der organischen Trockenmasse lässt sich aus der Methanausbeute ermitteln, indem über das stöchiometrische Gleichgewicht das Gewicht des gebildeten Biogases in Abhängigkeit vom Methangehalt bestimmt wird und dann das Biogasgewicht vom Substrateinsatz abzieht. In Abhängigkeit vom Methangehalt hat Biogas ein Gewicht von 1,25 – 1,35 kg/m³.

Per Hand kann einfacher der Masseabbau durch die Fugatfaktoren, die auf Grundlage der Gaserträge nach KTBL (KTBL– Heft Nr. 88) für mittlere Verhältnisse gelten, geschätzt werden. Die folgenden Fugatfaktoren geben an, wie viel Substratmasse nach der Vergärung

noch vorhanden ist:

- Gülle 98 %
- Mais- und Anwelksilage 75 %
- Stallmist 90 %
- Ganzpflanzensilage 70 %
- Trockenkot 80 %
- Getreidekorn 20 %

Entsprechend dem Rechenbeispiel (Tab. 25) für eine 150 kW gülledominierte Biogasanlage ergibt sich eine Massenreduzierung auf 92,5 %.

Tabelle 25: Rechenbeispiel zur Ermittlung des Masseabbaus

Substrat	Substrateinsatz	Fugatfaktor	Gärrestanfall
Einheit	t /d	%	t /d
Rindergülle	20	98 %	19,6
Maissilage	5	75 %	3,75
Trockenkot	2	80 %	1,6
Summe	27		24,95

Der Gehalt der Gärreste an Phosphor, Kalium und Magnesium ergibt sich aus der Mischungsbilanz der eingesetzten Materialien (Tab. 26). Besonders bei Einsatz von TS-reichen Substraten führt der Masseabbau zur Erhöhung der Nährstoffgehalte. Bei der Ermittlung des Stickstoffgehaltes ist zu beachten, dass in Abhängigkeit vom pH-Wert (7,5...8) und der Temperatur (38...43 °C) eine Verschiebung des Lösungsgleichgewichtes zwischen Ammonium und Ammoniak erfolgt und die Konzentration des gasförmigen Ammoniaks ansteigt.

Die Nährstoffgehalte von Gärresten werden wesentlich von den eingesetzten Substraten und den Vergärungsbedingungen bestimmt. Die Fermentation entzieht dem Substrat im Wesentlichen nur Kohlenstoff. Somit ergeben sich die Gehalte der Hauptnährstoffe aus der Mischungsbilanz der eingesetzten Substrate. Durch die höheren Gasausbeuten der Feldfrüchte im Vergleich zu den Wirtschaftsdüngern sind die Eigenschaften der Biogasgülle und Gärreste nicht direkt vom Gülleanteil abhängig. Die Düngungseigenschaften der Biogasgülle ähneln denen des Wirtschaftsdüngers Gülle, wobei aber besonders die veränderten Kohlenstoffgehalte und die Bindungsformen des Stickstoffs zu beachten sind.

Tabelle 26: Rechenbeispiel zur Ermittlung der Nährstoffgehalte

Substrat	Einsatzmenge	N-Gehalt ¹⁾	P-Gehalt	K-Gehalt
Einheit	t/d	kg/m ³ FM	kg/m ³ FM	kg/m ³ FM
Rindergülle	20	3,8	0,66	4,42
Maissilage	5	4,3	0,08	0,42
Trockenkot	2	25,7	9,04	15,0
Biogasgülle	24,95 ²⁾	6,0	1,27	4,83

¹⁾ Stall und Lagerungsverluste nach DVO beachtet

²⁾ incl. Masseabbau bei Gasertrag nach KTBL Heft 88 (vgl. Tab. 1)

Relativ einfach lassen sich die Masseverluste und die Nährstoffgehalte auch mittels des TLL Rechners Biogasgülle - Anfall, Inhaltsstoffe, Kosten und Wert der Biogasgülle berechnen (Quelle: www.tll.de/ainfo Stichwort Biogas)

Humuswirkung von Biogasgülle

Die Ergebnisse der in den 1980er Jahren erfolgten umfangreichen Untersuchungen zum Kohlenstoffabbau während der Güllevergärung zeigen, dass die Biogaserzeugung zu einer ähnlichen C-Stabilisierung wie die aerobe Rotte führt. Die Ergebnisse von Bebrütungsversu-

chen mit Boden und Rohgülle sowie mit Boden und vergorener Gülle belegen, dass die Düngung unvergorener und vergorener Gülle eine vergleichbare Humusreproduktion zur Folge hat. Ursache ist die höhere C-Stabilität der Biogasgülle im Vergleich zur unvergorenen Gülle.

Allerdings können Aussagen zur Humusdynamik im Boden nur mit Hilfe langjähriger Experimente getroffen werden. Da Ergebnisse von Langzeituntersuchungen zur C-Dynamik im Boden nach Biogasgülledüngung noch nicht vorliegen, wurde zur Schätzung der Humuswirkung der Gärreste der VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung (2004) herangezogen. Dieser geht von einer höheren Humusproduktionsleistung der Biogasgülle im Vergleich zu unvergorenen Wirtschaftsdüngern aus (Abb. 18).

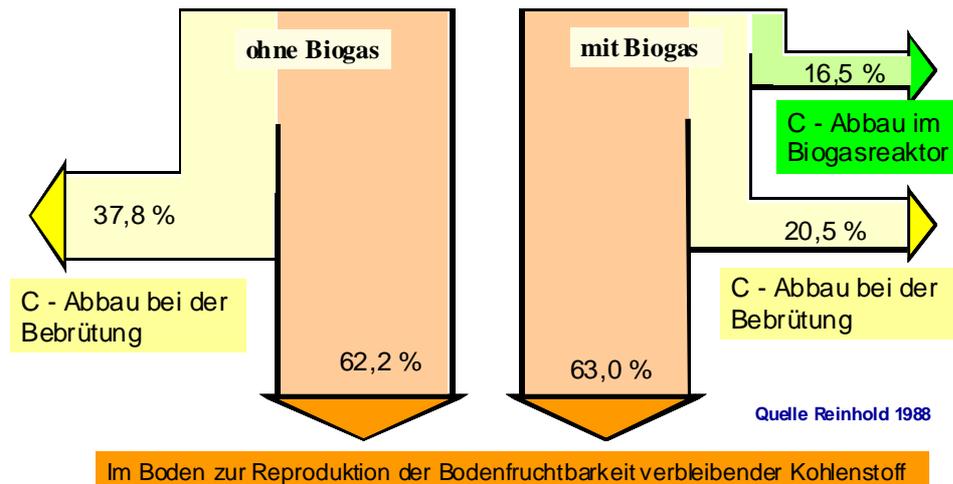


Abbildung 18: Kohlenstoffbilanzierung mit und ohne Biogasproduktion

Für Wirtschaftsdünger ist mit einer Humusreproduktion von 87 kg Humus C/t TS und für Gärprodukte mit einem deutlich gestiegenen Faktor von 142 kg Humus C/t TS zu kalkulieren. Auch wenn hierfür nur ältere experimentelle Untersuchungen aus der Güllevergärung vorliegen, so sollte doch bei der Bewertung der Biogasgülle der höhere Humusreproduktionsfaktor zur Anwendung kommen.

7.1.4 Einsatz von Gärresten

Die Düngeverordnung begrenzt den Einsatz von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft auf maximal 170 kg N/ha im Mittel des Betriebes. Bei der Berechnung sind Stall- und Lagerungsverluste abzuziehen, Ausbringungsverluste jedoch nicht. Die Erweiterung auf Stickstoffmengen pflanzlicher Herkunft, wie z.B. durch den Einsatz von NAWARO, befindet sich zurzeit in der Diskussion. Ungeachtet dessen steht der Nährstoffbedarf der Pflanzen im Vordergrund und die Versorgungsstufen der Böden sind zu beachten.

Weiterhin gilt zurzeit ein maximal zulässiger N-Bilanzsaldo im 3-jährigen Mittel von 60 kg N/ha. Der P-Bilanzsaldo im 6-jährigen Mittel darf maximal 20 kg P₂O₅/ha (> 8,7 kg P/ha) betragen, wenn im Mittel des Betriebes der P-Gehalt im Boden >20mg P₂O₅/100 g Boden (> 8,7 mg P/100 g) liegt.

Die „Gülesperfrist“ auf Ackerland vom 1. November bis 31. Januar sowie auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar gilt auch für Gärreste. Das Ausbringungsverbot für N- und P-haltige Düngemittel auf nicht aufnahmefähige Böden verlängert praktisch die Sperrfrist.

Die N-Zufuhr über Gärreste ist entsprechend dem Bedarf der Pflanzen, den N_{min}-Gehalt im Boden und einer sinnvollen Teilung zwischen organischer und mineralischer Zufuhr zu planen. Die zulässigen Höchstmengen nach DüV sind zu beachten. Für Biogasgülle sollten auf-

grund des hohen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehaltes das N-Mineraldüngeräquivalent von Schweinegülle (60 % N-Anrechnung im Ausbringungsjahr) Anwendung finden (Abb. 19).

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Winterraps	⊠										⊠	⊠
Wintergetreide	⊠										⊠	⊠
Sommergetreide	⊠										⊠	⊠
Rüben	⊠										⊠	⊠
Kartoffeln	⊠										⊠	⊠
Mais	⊠										⊠	⊠
Feld- und Klee gras	⊠										⊠	⊠
So-Zwischenfrucht	⊠										⊠	⊠
Wi-Zwischenfrucht	⊠										⊠	⊠
Grünland	⊠										⊠	⊠

Legende:

Kernsperrzeit nach DVO



N-Ausnutzung

hoch



mittel



niedrig



Abbildung 19: Ausbringungskalender für Biogasgülle und Gärreste unter Berücksichtigung der Düngerverordnung 2007

In der landwirtschaftlichen Praxis erfolgte zum Teil noch die Bemessung der Gabenhöhe pauschal nach Kriterien wie Getreide 20 m^3/ha , Grünland 30 m^3/ha , Mais 40 m^3/ha bzw. die Gabenhöhe wird so gewählt, das nur eine Durchfahrt im Schlag nötig ist. Aus fachlicher Sicht sind diese Varianten aber abzulehnen. Im Rahmen der guten fachlichen Praxis ist der N-Düngebedarf nach der Stickstoff-Bedarfs-Analyse (SBA) zu ermitteln. Im Interesse einer effizienten N-Ausnutzung sollte der N-Anteil des Gärrestes als N-Mineraldüngeräquivalent an der Gesamtgabe ca. 50 %, maximal 75 % betragen.

Weiterhin gilt die Begrenzung der Ausbringmenge nach der Ernte der Hauptfrucht auf maximal 80 kg Gesamt-N/ha bzw. 40 kg $\text{NH}_4\text{-N}/\text{ha}$ auch für Biogasgülle. Infolge des gestiegenen Anteils an Ammoniumstickstoff des Gesamt-N (Streubreite: 60 bis 90 %) begrenzt die Ammoniumfrucht die zulässige Gärrestmenge.

Bei der Ausbringung von Biogasgülle ist verstärkt auf die Anwendung von emissionsmindernden und emissionsarmen (Schleppschlauch und Gleitfuß) sowie weitgehend emissionsfreier Verfahren zu orientieren. Beim Einsatz auf unbewachsenem Boden bzw. bei Breitverteilung ist eine unmittelbar folgende Einarbeitung zwingend. Die Gabenhöhen sind entsprechend der ermittelten Nährstoffgehalte und dem Bedarf der Pflanzen im Vergleich zur Rohgülle zu korrigieren.

Hinsichtlich der Einsatzzeit der Wirtschaftsdünger werden die optimalen Zeitspannen kürzer. Der Applikation in der Vegetationszeit ist der Vorzug gegenüber einer Ausbringung nach der Ernte der Hauptfrucht zu geben. Die schnellere Wirkung des Stickstoffs und die reduzierte Gefahr von Ätزشäden wirken hierbei als weitere Vorteile.

Gärreste aus der Biogasproduktion können entsprechend dem betrieblichen Nährstoffbedarf gut im Ackerbau verwertet werden. Aufgrund des hohem Ammoniumanteil können im verstärktem Maße mineralische N-Dünger ersetzt werden, wenn mit verlustarme Ausbringung, zeitlich und mengenmäßig ein optimierter Einsatz zu Kulturen mit entsprechendem N-Bedarf erfolgt. Das N-Mineraldüngeräquivalent der Gärreste korreliert mit dem Ammoniumgehalt. Die sich aus der Veränderung der Substrateigenschaften ableitenden Anforderungen an den Einsatz der Biogasgülle sind durch den Landwirt zu beachten und in der landwirtschaftlichen Düngepraxis umzusetzen.

Zur Düngeplanung sind regelmäßig Gärrestanalysen durchzuführen (auch $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt). Die N-Wirkung der Gärreste ist besser zu kalkulieren als z. B. bei Rindergülle. Der P- und K-Gehalt der Gärreste ist mittelfristig zu 100 % pflanzenverfügbar. Deshalb sollten Gärreste gezielt auch auf Flächen mit P- und K-Düngebedarf eingesetzt werden.

Mit dem EEG wurden die Grundlagen für den verstärkten Einsatz von Kosubstraten geschaffen. Hieraus ergeben sich in Abhängigkeit von Menge der eingesetzten Kosubstraten folgende zu beachtende Aspekte:

- Steigerung des Lagerraumbedarfes,
- Veränderung im Nährstoffgehalt,
- Veränderungen im Bedarf an Verwertungsfläche,
- gegebenenfalls erforderliche Reduktion der Gabenhöhe aufgrund des gestiegenen Nährstoffgehaltes und
- Beachtung des höheren Ammoniumgehaltes bei der Kalkulation der Gabenhöhe.

Mit der Verabschiedung des EEG werden die Voraussetzungen zum deutlich erweiterten Einsatz der Biogastechnologien in der Landwirtschaft geschaffen.

Der Landwirt muss die Veränderung der Substrateigenschaften bei der Biogaserzeugung kennen und die sich daraus ergebenden Anforderungen an den Einsatz der Biogasgülle beachten.

Prinzipiell bietet die Biogastechnologie Möglichkeiten zur Steigerung der Düngewirkung der Wirtschaftsdünger. Allerdings sind auch die umweltrelevanten Aspekte im Zusammenhang mit Nährstoffverlusten zu beachten.

Anlage