

**Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.**



Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr. habil. Reiner Brunsch

Schlussbericht

des Teilprojekt 4 (FKZ: 22002605)

**„Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung
auf Substratqualität und Biogasausbeute
in Labor und in der Praxis“**

im Rahmen des Verbundvorhabens

„Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen
für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter
verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“

**Dr. Monika Heiermann ¹, Dr. Christine Idler ²,
Dipl.-Ing. (BA) Christiane Herrmann ¹, Dr. V. Scholz ³,**

Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

¹ Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe

² Abteilung Bioverfahrenstechnik

³ Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung

Projektzeitraum: 15.03.2005 – 31.01.2009

Gliederung	Seite
I Kurzdarstellungen	3
I.1 Aufgabenstellung	3
I.2 Vorhabensvoraussetzungen	3
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	4
I.4 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn	4
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II Eingehende Darstellungen der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlichen Ereignisse	6
II.1 Material und Methoden	6
II.1.1 Probenübersicht 2005-2007	6
II.1.2 Chemische Analytik	7
II.1.3 Laborversuche	9
II.1.4 Praxisversuche	11
II.2 Ergebnisse	17
II.2.1 Einfluss von Silierparametern auf Silagequalität und Biogasausbeute in Laborversuchen	17
II.2.1.1 Einfluss der Pflanzenarten und Mischungen	17
II.2.1.2 Einfluss des Erntezeitpunktes	24
II.2.1.3 Einfluss von Silierzusätzen	30
II.2.1.4 Einfluss der Silierdauer	34
II.2.2 Ergebnisse aus Praxisbetrieben	37
II.2.2.1 Anbau und Bestandsführung	37
II.2.2.2 Silierversuche	45
II.2.2.3 Monitoring der Biogasanlagen	55
II.3 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	65
II.4 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	65
II.5 Literaturverzeichnis	66
II.6 Projektbezogene Publikationen	68
II.7 Übersicht des Anhangverzeichnisses	69
Anhang	
-	

I Kurzdarstellungen

I.1 Aufgabenstellung

Ziel des Teilprojektes war es, im Rahmen definierter Anbau- und Fruchtfolgesysteme den Einfluss der Pflanzenart und der Silierung auf die Substratqualität und den Biogasertrag zu untersuchen. In Labor- und Praxisversuchen wurden mittels Variation der Einflussparameter Pflanzenart, Erntezeitpunkt, Häcksellänge, Siliermittel und Silierdauer die Auswirkungen auf die Substratqualität und auf Biogasausbeute und -qualität systematisch zu prüfen.

Das Projekt beinhaltete die Schwerpunkte:

- Großflächige Anbauversuche mit definierten Fruchtfolgen in landwirtschaftlichen Betrieben
- Silierversuche im großtechnischen Maßstab (Praxisversuche)
- Vergärung der unterschiedlichen Biomassequalitäten mittels Mono- und Kofermentation in Praxisbiogasanlagen
- Durchführung von Modellsilierversuchen (Siliertests) zur Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf die Substratqualität
- Gärtests (Batch-Ansatz) zur Ermittlung der Stoff- und Energieumsätze der unterschiedlichen Substratqualitäten hinsichtlich Biogasausbeute und -qualität

Für das Vorhaben wurden folgende Aufgabenstellungen formuliert:

- Prüfung von Pflanzenarten im Hinblick auf höchst mögliche Biogasausbeuten und Biogasbildungsraten
- Einordnung neuer, d.h. bislang in der Region nicht angebaute Pflanzenarten in die bestehende regionalspezifische Anbaustruktur
- Identifizierung und Quantifizierung qualitätsbestimmender Parameter im Hinblick auf den Einsatz von Silagen zur Biogasproduktion
- Bewertung der verwendeten Siliermittel für Anwendungen im Biogasbereich
- Monitoring und Bewertung der Vergärung pflanzlicher Substrate mittels Mono- und Kofermentation in Praxisbiogasanlagen
- Gesamtbewertung auf Basis der Labor- und Praxisversuche zwecks Auswahl und Begründung von Vorzugsvarianten
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft

I.2 Vorhabensvoraussetzungen

Die Durchführung des Satellitenprojektes (TP4) erfolgte unter Leitung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe unter Mitarbeit der Abteilung Bioverfahrenstechnik sowie der Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung in enger Kooperation mit den Praxispartnern, der Lehranstalt für Tierzucht u. Tierhaltung Groß Kreutz und dem Landwirtschaftsbetrieb Schulze in Dolgelin.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Den Kern des EVA-Verbundes bildete ein Fruchtfolgeversuch, der durch Landesforschungsanstalten und Landwirtschaftskammern aus sieben Bundesländern in agrarisch sehr unterschiedlich geprägten Regionen parallel umgesetzt wurde. Dieser Fruchtfolgeversuch wurde durch eine Reihe zusätzlicher Teil- und Satellitenprojekte begleitet, die verschiedenste Fragestellungen hinsichtlich einer nachhaltigen Fruchtfolge- und Anbaugestaltung behandeln. Am ATB untersuchte innerhalb des TP4 den Einfluss der Pflanzenart und der Silierung auf die Substratqualität und den Biogasertrag unter Anwendung etablierter Methoden.

Die im Kap. I.1 aufgeführten Versuchsschwerpunkte wurden mit den Partnern des Verbundprojekts entwickelt und in Zusammenarbeit umgesetzt. Weiterhin wurde in enger Abstimmung mit der Koordination ein systematischer Probenplan für die Durchführung der Gärtests erarbeitet, der die Probenauswahl hinsichtlich Pflanzenart, Versuchsvariante bzw. Standort und deren Umfang festlegt. Im Projektverlauf wurden witterungs- und pflanzenbaulich bedingte Abweichungen vom Versuchsplan einvernehmlich abgestimmt.

In Wechselwirkung flossen die im Satellitenprojekt (TP4) ermittelten Ergebnisse in einen gemeinsamen Datenpool, so dass kohärente Datensätze für die Gesamtbewertung des Themenkomplexes zur Verfügung standen.

I.4 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn

Der Anbau von Energiepflanzen für die Produktion von Biogas ist eine neue Ausrichtung des Ackerbaus und bietet erhebliche Entwicklungspotenziale hinsichtlich Flächenproduktivität, Energiebilanz und Wirtschaftlichkeit.

Die Auswahl der anzubauenden Energiepflanzen erfolgt hinsichtlich ihrer Eignung für die Vergärung und des zu erwartenden Energieertrags, der durch zwei Einflussgrößen bestimmt wird: dem Biomasseertrag der Pflanze je Hektar und dem Methanertrag, der je Tonne Pflanze in der Biogasanlage erzeugt wird. Einzelne Pflanzenarten und -sorten als auch verschiedene Pflanzenteile derselben Pflanze weisen Unterschiede in der Zusammensetzung und Gehalten an Inhaltsstoffen auf, wodurch sich die entsprechenden Biogas- bzw. Methanpotenziale definieren.

Einen maßgeblichen Einfluss auf den Energieertrag hat die Konservierung und Lagerung. Aus der Futterkonservierung ist die Silagebereitung als Verfahren bekannt. Wesentliche Einflussfaktoren auf die Silagequalität sind der richtige Erntezeitpunkt, Erntetechnik, der Trockenmassegehalt, eine ausreichende Verdichtung des Siliergutes und ein luftdichter Abschluss. Der Einfluss des Silierprozesses auf die Biogaserzeugung wurde bisher noch nicht eingehend untersucht. Es ist allerdings anzunehmen, dass die während des Silierens ablaufenden biochemischen Prozesse Auswirkungen auf die spätere anaerobe Vergärbarkeit haben können. Siliermittel wurden bislang nur hinsichtlich der Futterqualität optimiert. Unklar ist, ob für die energetische Nutzung von Silagen dieselben Anforderungen gelten.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

National und international ist das ATB in zahlreiche Netzwerke und Verbundvorhaben eingebunden. Die Basis hierfür sind intensive Kooperationen mit Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen im In- und Ausland. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes kommt der engen Kooperation des ATB mit dem „Biogas Crops Network“ (Verbundprojekt: Grundlagen der Biogasgewinnung aus pflanzlicher Biomasse) und dem EU-AgroBiogas-Projekt („European Biogas Initiative to Improve the Yield of Agricultural Biogas Plants“) besondere Bedeutung zu. In dem Forschungsschwerpunkt Konservierung und Lagerung bestehen langjährige Zusammenarbeiten mit der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung), der Universität Rostock (Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät) sowie dem DLG-Bundesarbeitskreis Futterkonservierung.

II.1.2 Chemische Analytik

Entsprechend dem abgestimmten Methodenhandbuch (**Tab. II.1.2-1**) aller Verbundpartner wurden alle Proben am ATB nach folgenden Methoden untersucht.

Tab. II.1.2-1: Methodik der am ATB untersuchten Parameter

Parameter	Methoden
Trockenmasse	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 3.1, Korrektur nach WEIßBACH & KUHLA, 1995
Rohasche	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 8.1
pH-Wert	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 18.1
Pufferkapazität	Hausmethode, in Anlehnung an WEIßBACH, 1967
Rohfett _{mit Hydrolyse}	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 5.1.1
Rohfaser	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 6.1.2
ADF	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 6.5.2
NDF	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 6.5.1
ADL	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 6.5.3
Stärke	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 7.21.1
Gesamtzucker	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 7.1.1
Kohlenstoff _{elementar}	DIN ISO 10694, 8-1996
Stickstoff _{elementar}	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.1.2
Stickstoff _{Kjeldahl}	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.1.1
Schwefel _{elementar}	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.1.2
Ammonium-Stickstoff	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.8.1
Phosphor	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6 oder 10.6.1 bzw. gleichwertige Methode
Kalium	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6 oder 10.2.1 bzw. gleichwertige Methode
Magnesium	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6 oder 10.4.1 bzw. gleichwertige Methode
Kalzium	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6 oder gleichwertige Methode
Gärprodukte	Hausmethode, mod. nach BLOCK & WEIßBACH 1982
Tausendkorngewicht	ISTA Vorschriften, Kap. 10

Aus den Analysenparametern wurden stickstofffreie Extraktstoffe (NfE), Rohprotein, Rohasche und die Vergärbarkeitskoeffizienten (VK) errechnet.

Die Trockenmassegehalte aller Silagen wurden in Abhängigkeit vom pH-Bereich nach folgenden Formeln korrigiert (**Tab. II.1.2-2**):

Tab. II.1.2-2: Trockenmasserkorrekturen von Silagen nach dem pH-Wert nach WEISBACH UND KUHLA (1995)

pH-Bereich	Gleichung zur Korrektur des TM-Gehaltes
< 4,0	$TM_k = TM_n + 0,94 \text{ FFS} + 0,08 \text{ MS} + A + 0,16 \text{ NH}_3$
4,01 ... 4,5	$TM_k = TM_n + 0,80 \text{ FFS} + 0,08 \text{ MS} + A + 0,32 \text{ NH}_3$
4,51 ... 5,0	$TM_k = TM_n + 0,68 \text{ FFS} + 0,08 \text{ MS} + A + 0,48 \text{ NH}_3$
5,01 ... 5,5	$TM_k = TM_n + 0,58 \text{ FFS} + 0,08 \text{ MS} + A + 0,64 \text{ NH}_3$
> 5,5	$TM_k = TM_n + 0,50 \text{ FFS} + 0,08 \text{ MS} + A + 0,80 \text{ NH}_3$

TM_k ... Korrigierter TM-Gehalt (%)

TM_n ... nicht korrigierter TM-Gehalt (%)

FFS ... Summe der Gehalte an flüchtigen Fettsäuren (C₂ bis C₆) (% der Frischmasse)

MS ... Gehalt an Milchsäure (% der Frischmasse)

A ... Summe der Gehalte an einwertigen Alkoholen (C₂ bis C₄) (% der Frischmasse)

NH₃ ... Ammoniak

Alle ermittelten Gehaltswerte, die aus der Trockenmasse bestimmt werden, wurden durch Multiplikation mit dem Quotienten korrigiert:

$$Q = \frac{TM_n}{TM_k}$$

Auch die Trockenmassegehalte der Frischmassen wurden in beschriebener Weise korrigiert. Allerdings musste der Ammonikanteil unberücksichtigt bleiben, da er von diesem Material nicht ermittelt wurde. Die dadurch entstandene Ungenauigkeit ist jedoch zu vernachlässigen, da der Anteil unerheblich gering ist.

Grundsätzlich wurden alle Untersuchungen sowohl der Frischmassen (FM) als auch der Silagen aus eingefrorenem Material vorgenommen. Bodenuntersuchungen wurden beim Projektpartner ZALF durchgeführt.

Von den unterschiedlichen Gutarten wurden die in **Tab. II.1.2-3** angegebenen Parameter untersucht.

Tab. II.1.2-3: Untersuchte Parameter der verschiedenen Probenarten

Parameter	Kürzel	Probenart			
		Boden ATB- Proben	Erntegut ATB- Proben	Frischmassen Partner ohne Thüringen	Silage ATB, Partner
Trockenmasse _{60°C}	TM _{60°C}				
Trockenmassse _{105°C}	TM _{105°C}				
Organische Trockenmasse	oTM				
pH-Wert	pH				
Rohfett mit Hydrolyse	-				
Rohfaser	-				
Säure-Detergentien-Faser	ADF				
Neutrale-Detergentien-Faser	NDF				
Säure-Detergentien-Lignin	ADL				
Stärke	-				
Zucker	-				
Kohlenstoff _{elementar}	C				
Stickstoff _{elementar}	N				
Schwefel _{elementar}	S				
Stickstoff _{min}	N _{min}				
Schwefel _{min}	S _{min}				
Ammonium-Stickstoff	NH ₄ -N				
Phosphor	P				
Kalium	K				
Magnesium	Mg				
Kalzium	Ca				
Gärsäuren	-				
Pufferkapazität	PK				

Zusätzlich wurden das Impfmaterail für die Laborgärtests, das Biogas sowie die Gülle in den Biogasanlagen auf die in **Tab. II.1.2-4** zusammengestellten Parameter untersucht.

Tab. II.1.2-4: Untersuchte Parameter der Proben aus den Laborgärtests und aus den Praxisversuchen

Parameter	Impfmateri	Probenart Biogas	Praxisgülle
Trockenmasse _{60°C}			
Trockenmasssse _{105°C}			
Organische Trockenmasse			
pH-Wert			
Leitfähigkeit			
Rohfaser			
Stickstoff _{elementar}			
Ammonium-Stickstoff			
Phosphor			
Kalium			
Gärsäuren			
Methangehalt			
Kohlendioxidgehalt			
Sauerstoffgehalt			
Schwefelwasserstoffgehalt			
Gasvolumen			

II.1.3 Laborversuche

In Laborversuchen wurde der Einfluss unterschiedlicher Silierparameter auf Silagequalität, Biogasausbeuten und –qualität untersucht. Dabei wurden sowohl Proben aus den Grundversuchen als auch aus den Satellitenversuchen mit einbezogen (Tab. II.1.1-1).

Modellsilierungsversuche

Innerhalb von drei Vegetationsperioden (2005-2007) wurden vom Material verschiedener Projektstandorte der Partnereinrichtungen (Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; Landwirtschaftskammer Weser-Ems; Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) sowie vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. Modellsilierungsversuche angesetzt. Die Silierung des Erntegutes erfolgte prinzipiell nach den Richtlinien der DLG zur Prüfung von Siliermitteln (DLG 2000).

Die Silieransätze erfolgten in 1,5 l Modellsilos (Tulpengläser der Fa. WECK) jeweils in drei Parallelen. Die Füllichte wurde so gewählt, dass ein Porenvolumen von 5 Litern /kg Trockenmasse erreicht wurde. Die Verdichtung des Häckselgutes erfolgte manuell mit einer selbstgebauten Vorrichtung. Um ein einheitliches Vorgehen während der Einsilierung zu erreichen, wurden in allen o.g. Einrichtungen Möglichkeiten geschaffen, unter gleichen Bedingungen das Erntegut zu konservieren. Dazu wurden einheitliche Modellsilos sowie die gleiche Vorrichtung zur Verdichtung vom ATB bereitgestellt (**Abb. II.1.3-1**). Gleichzeitig wurde ein einheitliches Vorgehen bei der Probenerfassung und -lagerung abgestimmt.

Nach 90tägiger Silierzeit bei 25°C wurden alle Proben am ATB ausgelagert und bis zur Weiterbearbeitung bei –18°C eingefroren.

Zur Prüfung des Einflusses der Silierdauer auf die Biogasausbeuten wurden die Gläser ausgewählter Pflanzenarten zusätzlich nach 10, 180 und 365 Tagen ausgelagert.

Zur Prüfung des Einflusses von Silierzusätzen auf die Biogasausbeuten wurden chemische und biologische Zusätze verwendet (**Tab. II.1.3-1**). Eine unbehandelte Kontrolle wurde stets mit einsiliert.



Abb. II.1.3-1: Modellsilo und manuelle Verdichtungsrichtung

Tab. II.1.3-1: Verwendete Silierzusätze

Produkt	Kürzel	Wirksame Inhaltsstoffe	Anwendung	Applikationsrate	Hersteller
MAIS KOFASIL® liquid	Chem. A	Natriumbenzoat, Natriumpropionat	Sicherung der aeroben Stabilität vom Mais-, CCM-, LKS und Ganzpflanzensilagen	3-5 l/t	ADDCON AGRAR GmbH, Bonn (D)
KOFASIL Liquid	Chem. B	Natriumnitrit, Hexamethylentetramin	Grünfuttersilierung	2-3 l/t	ADDCON AGRAR GmbH, Bonn (D)
SILASIL ENERGY G	Biol. A	Homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien	Silierung von Energiepflanzen	10 ⁵ cfu/g FM	LACTOSAN Starterkulturen Ges. m.b.H. & Co. KG, Kapfenberg (A)
Bio-Sil	Biol. B	Homofermentative Milchsäurebakterien	Silierung von Gras und Mais	10 ⁵ cfu/g FM	Dr. Pieper Technologie- u. Produktentwicklung, GmbH, Wuthenow (D)
BONSI-LAGE plus (flüssig)	Biol. C	Homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien	Senkung der Nachgärverluste in Anwelk- und Maissilagen	10 ⁵ cfu/g FM	H. Wilhelm Schumann GmbH, Pinneberg (D)

Gärtests zur Ermittlung der Biogasausbeuten und Biogasqualität

Für die Untersuchungen im batch-Verfahren kamen vier Laboranlagen zum Einsatz, die je aus 13 gasdichten Faulflaschen, 13 Nassgasometern und einem thermostatisierbaren Wasserbad bestehen (Abb. II.1.3-2 und -3). Alle Versuchsansätze wurden 30 Tage auf 35°C konstant gehalten.

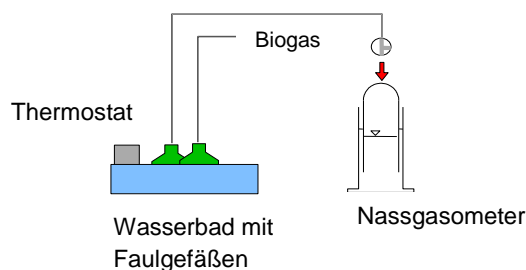


Abb. II.1.3-2: Schematischer Aufbau der Laborversuchsanlage



Abb. II.1.3-3: Laborversuchsanlage

Die Menge des täglich produzierten Biogases wurde in den kalibrierten Gasometern aufgefangen und abgelesen. Der Methan-, Kohlendioxid- und Sauerstoffgehalt des Biogases so-

wie der Gehalt an Schwefelwasserstoff wurde aus den gefüllten Gasometer mittels Gasanalysator GA 94 (Fa. ansysco) erfasst.

Es war zu gewährleisten, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Impfmateriale und Substrat vorhanden ist. Zu große Mengen an Substrat im Ansatz können eine Übersäuerung zur Folge haben und zu Fehleinschätzungen der Biogasausbeute führen. Aus Erfahrungen vorangegangener Versuche hat sich eine Einwaage von 50 g Substrat zu 1,5 Litern Impfmateriale bewährt. Das Impfmateriale des ATB setzt sich aus den Abläufen vorangegangener Gärtests mit Energiepflanzen zusammen. Das aus dem Impfmateriale gebildete Restgas wurde je Laboranlage einmal ermittelt und von dem Gasvolumen der Versuchsansätze mit Substrat subtrahiert. Zur Kontrolle der Aktivität des Impfmateriales wurde zusätzlich ein Ansatz mit mikrokristalliner Cellulose Ph. Eur.5 (Fa. EURO OTC Pharma GmbH) als Referenzsubstrat mitgeführt.

Es wurden von allen in den Gärtests eingesetzten Proben die in den Tabellen II.1.2-3 und Tab. II.1.2-4 aufgeführten Parameter untersucht.

Die Korrektur des gemessenen Gasvolumens auf Normbedingungen und trockenes Gas erfolgte entsprechend der 2006 überarbeiteten VDI Richtlinie 4630 (VDI, 2006) nach folgender Formel:

$$V_0^{tr} = V \cdot \frac{(p - p_w) \cdot T_0}{p_0 \cdot T}$$

Dabei sind

V_0^{tr}	Normgasvolumen trocken [NI]
V	abgelesenes Volumen des Biogases aus dem Gärtestansatz mit Substrat [l]
p	Druck der Gasphase zum Zeitpunkt des Ablesens [hPa]
p_w	Dampfdruck des Wassers in Abhängigkeit von der Raumtemperatur [hPa]
p_0	Normdruck: 1013,25 hPa
T	Temperatur des Biogases (entspricht der Temperatur des umgebenden Raumes) [K]
T_0	Normtemperatur: 273,15 K.

Die Korrektur des Methangehaltes (Kopfraumkorrektur) wurde ebenfalls nach der überarbeiteten VDI Richtlinie 4630 nach folgender Formel vorgenommen:

$$c_{korrr}^{tr} = c_{CH_4} \cdot \frac{100}{c_{CH_4} + c_{CO_2}}$$

Dabei sind

c_{korrr}^{tr}	korrigierte Konzentration der Biogaskomponente; trocken [Vol-%]
c_{CH_4}	gemessene Konzentration an Methan im Biogas [Vol-%]
c_{CO_2}	gemessene Konzentration an Kohlendioxid im Biogas [Vol-%].

II.1.4 Praxisversuche

Im Rahmen des Teilprojektes 4 wurden in zwei Praxisbetrieben (Betrieb K und Betrieb M) der Anbau der Fruchtfolge Nr. 3 aus dem Grundversuch des Verbundvorhabens sowie der Anbau von perennierendem Roggen als mehrjährige Fruchtart im Praxismaßstab erprobt. Das entsprechende Erntegut wurde im Praxismaßstab siliert und in den hofeigenen Biogasanlagen der beiden Betriebe verwertet. Dabei erfolgte ein Monitoring. Die Folge der Fruchtarten der Jahre 2005 bis 2008 ist in **Abb. II.1.4-1** dargestellt.

		2005					2006					2007					2008													
		A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Betrieb K		Silomais					Grünschnittroggen					Sudangras					Wintertriticale-GPS				Winterroggen Korn									
		perennierender Roggen										Silomais				Winterroggen Korn														
Betrieb M		Silomais					Grünschnittroggen					Sudan-gras					Wintertriticale-GPS				Winterroggen Korn									
		perennierender Roggen										Winterroggen-GPS																		

Abb. II.1.4-1: Fruchtfolgen der Praxisversuche

Praxisanbau

Die Versuchsflächen befanden sich auf für Brandenburg typischen ertragsschwachen Standorten mit leichten Böden und geringen jährlichen Niederschlägen. Die Charakteristik der Versuchsflächen ist der **Tabelle II.1.4-1** zu entnehmen.

Tab. II.1.4-1: Charakteristik der Versuchsflächen der Praxisbetriebe

	Betrieb K		Betrieb M	
	Fläche I (Fruchtfolge Nr. 3)	Fläche II Perennieren- der Roggen	Fläche I (Fruchtfolge Nr. 3)	Fläche II Perennieren- der Roggen
Größe der Fläche	4 ha	6 ha	11 ha	13 ha
Bodenart	lehmgiger Sand		lehmgiger Sand	
Ackerzahl	42	37	34	32
Mittlerer jährl. Niederschlag	490 mm		486 mm	
Mittlere Jahrestemperatur	9,1 °C		9,4	
Höhe über NN	35 m	35 m	50 – 55 m	50 m

Der Faktoreinsatz beim Anbau des Silomaises auf den Versuchsflächen der Betriebe K und M wurde weitestgehend den Landwirten der beiden Betriebe überlassen. Die Bedingungen, unter denen die in Abb. II.1.4-1 aufgeführten Pflanzenarten zum Anbau kamen, sind unter **Abschnitt II.2.2.1** aufgelistet.

Als Grundlage für die Einschätzung der Witterung an den Versuchsstandorten dienten die bei Betrieb K durch eine 20 km entfernte und bei Betrieb M durch eine 12 km entfernte Wetterstation erhobenen Daten.

Entsprechend den Absprachen im Verbundprojekt wurden während der Vegetationsperiode Bonituren und Messungen am Bestand sowie Analysen an den Pflanzen durchgeführt. Hierfür wurden in die Flächen zehn Messpunkte von jeweils 1 m² gelegt, an denen die Untersuchungen erfolgten. **Tab. II.1.4-2** zeigt eine Auflistung der bonitierten/gemessenen Parameter.

Die Frischmassen (FM) aus den Biomasseschnitten wurden hinsichtlich ihres TM-Gehaltes analysiert. Die FM aus der Gesamternte wurden als „Erntegut“ eingeordnet und entsprechend Tab. II.1.2-3 analytisch untersucht. Von dem Material der Gesamternte wurden Modellsilagen angelegt und entsprechend der Einordnung als „Silagen“ analysiert (Tab. II.1.2-3).

Tab. II.1.4-2: Messungen und Bonituren an den Pflanzenbeständen

Prüfmerkmal	Methode
Entwicklungsstadium	Bonitur in den 10 Messpunkten nach MEIER & BLEIHOLDER (2006)
Bestandsdichte (Pflanzen/m ² , Triebe/Pflanze, ährentragende Halme/m ²)	Auszählen in den 10 Messpunkten
Bodenbedeckung	Bonitur in den 10 Messpunkten
Bestandshöhe	Messung in den 10 Messpunkten
Unkrautbonitur (Leitunkräuter, Bodenbedeckung)	Bonitur in den 10 Messpunkten
Biomasseaufwuchs	je 10 Biomasseschnitte manuell auf je 1 m ² ; Massebestimmung mit Laborwaage
Ertrag (Gesamternte)	Ernte mit selbstfahrendem Häcksler; Massenbestimmung mit Radlastwaage

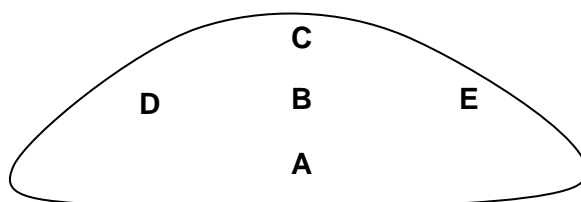
Die Ernte der auf den Praxisflächen angebauten Fruchtarten erfolgte jeweils mit zwei verschiedenen Häcksellängen. Ausnahmen waren der Grünschnittroggen und perennierende Roggen in Betrieb K und das Sudangras in Betrieb M, bei denen aufgrund des geringen Aufwuchses nur eine Häcksellänge untersucht wurde. Bei dem 2005 geernteten Mais in Betrieb K wurde zusätzlich die Variante mit 8 mm theoretischer Häcksellänge ohne Silierzusatz und mit dem biologischen Siliermittel A getestet. Das Erntegut der übrigen Fruchtarten in Betrieb K und in Betrieb M wurde ohne Silierzusatz konserviert. Die Varianten der Silagen sind in **Tab. II.2.2.2-2** und **II.2.2.2-3** aufgeführt.

Silierung im Praxismaßstab

Im Betrieb K erfolgte die Konservierung des Erntegutes vorwiegend in Schlauchsilos. Dabei wurde je Fruchtart ein Schlauchsilo angelegt, in dem die Häcksellängenvarianten bzw. die Varianten ohne und mit Siliermittelzusatz (nur Silomais im Erntejahr 2005) nacheinander verdichtet wurden. Ausnahme war der Grünschnittroggen, der aufgrund der geringen Erntemenge gemeinsam mit dem perennierenden Roggen in einem Schlauchsilo konserviert wurde. Die Silierung der Wintertriticale erfolgte im Fahrsilo, ebenfalls räumlich getrennt nach den beiden Häcksellängenvarianten.

Im Betrieb M wurde die Silierung des Erntegutes ausschließlich getrennt nach den Pflanzenarten in Freigärhaufen auf dem Versuchsfeld durchgeführt. Auch hier erfolgte die Verdichtung der Häcksellängenvarianten nacheinander im Silo.

Die Öffnung der Silos, die Entnahme der Silage und damit verbunden die Lagerdauer der Silagen waren von dem Betrieb der Praxisbiogasanlagen abhängig. Nach Entnahmebeginn eines Versuchssilos erfolgten jeweils zwei- bis dreimal pro Variante Probenahmen an der Anschnittfläche entsprechend des Schemas in **Abb. II.1.4-2**.

**Abb. II.1.4-2:** Probenahmestellen (A-E) im Praxissilo

Die Silageproben wurden hinsichtlich ihrer Inhaltsstoffe (erweiterte Weenders-Analyse), Gärgqualität sowie Biogausausbeute und -qualität im Batch-Gärtest analysiert. In der Auswertung

der Ergebnisse (**Abschnitt II.2.2.2**) sind die Proben A und B als „Silomitte“ und die Proben C, D und E als „Silorand“ zusammengefasst, wobei die Probenahmen am „Silorand“ jeweils 60 cm vom tatsächlichen Rand des Silos und damit deutlich außerhalb der Verderbschicht stattfanden.

Monitoring der Biogasanlagen

Während der Zugabe der Silagen aus dem Praxisversuch in die Biogasanlagen der beiden Praxispartner wurde ein Monitoring an den Anlagen durchgeführt. Im Folgenden sind die Biogasanlagen der Betriebe sowie die durchgeführten Messungen zusammenfassend beschrieben:

Biogasanlage des Betriebes K

In dem Betrieb K wird eine einstufige Durchfluss-Biogasanlage nach dem Verfahren der Kofermentation betrieben (**Abb. II.1.4-3**). Die Inbetriebnahme erfolgte im Jahr 2003. Als Substrate werden üblicherweise Rindergülle aus den betriebseigenen Ställen der Milchviehanlage und der Nachkommenschaftsprüfung, sowie Maissilage und Getreide in die Anlage eingebracht. Während des Monitorings erfolgte die Zugabe der Versuchssilagen als Kosubstrat zu Rindergülle. Das Material wird im mesophilen Temperaturbereich vergoren.

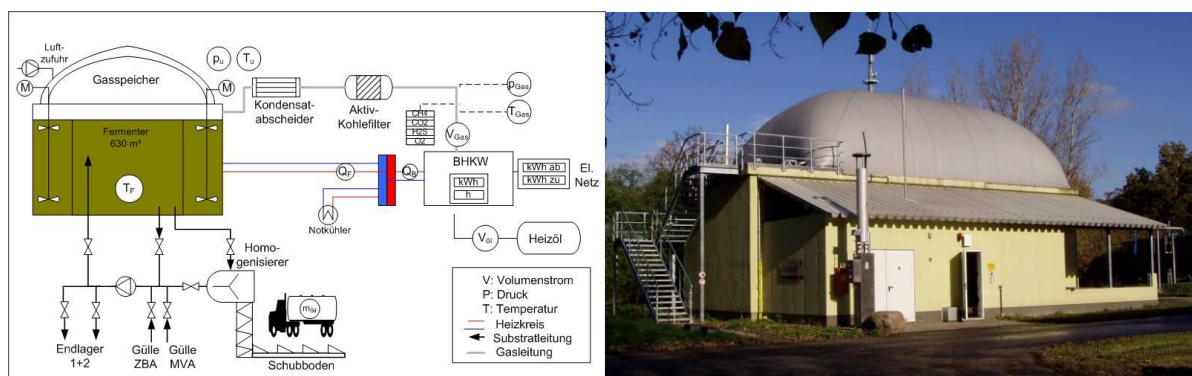


Abb. II.1.4-3: Biogasanlage Betrieb K

Der Fermenter (Hersteller: Biowatt Energy) besteht aus Stahlbeton mit einem Arbeitsvolumen von 630 m³, außen mit Wärmeverbundsystem gedämmt. Eine Längstrennung in der Mitte des Fermenters erzwingt eine Kreisführung des Substratgemisches, angetrieben durch zwei stehende Rührwerke mit jeweils zwei Rührflügeln pro Welle. Über die zentrale Pumpstation, bestehend aus einer Drehkolbenpumpe und einem System von automatischen Schiebern, wird sowohl Substrat zugeführt als auch der Gärrest abgeführt. Die Feststoffe werden vor dem Fermentereintrag über einen Schubboden und eine Förderschnecke in ein Rührwerk befördert und mit Rezirkulat vermischt. Der Gärrest wird in ein offenes Endlager gepumpt und bei Bedarf auf die betriebseigenen Felder ausgebracht. Das erzeugte Biogas wird in einem 180 m³ Foliendachspeicher, ausgeführt als Tragluftdach, aufgefangen. Die Verstromung erfolgt durch einen Zündstrahlmotor mit einer installierten elektrischen Leistung von 80 kW (Hersteller: Schnell). Der erzeugte Strom wird vollständig in das öffentliche Netz eingespeist, die abgegebene Wärmeleistung wird primär für den Fermenter benötigt, ansonsten für die Beheizung der umliegenden Gebäude verwendet.

Messtechnik: Die Temperatur im Fermenter wird an zwei Positionen kontinuierlich gemessen. Für die Biogasanalyse wird der Biogascontroller BC20 (Hersteller: CHEMEC) genutzt, erfasst werden dabei die Bestandteile Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff sowie Schwefel-

wasserstoff. Die Gasmenge wird im Betriebszustand über einen Balgengaszähler Typ BK G10 (Hersteller: Krom-Schröder) erfasst. Zur Normierung wurden Druck- und Temperatursensoren in der Gasstrecke installiert. Über die BHKW-Steuerung werden die Betriebsstunden sowie die erzeugte elektrische Leistung erfasst. Der Zündölverbrauch wird über einen Durchflusszähler gemessen. Über einen Leistungsmesser des zuständigen Netzbetreibers wird die erzeugte und bezogene elektrische Energie erfasst. Die Bestimmung der Zugabemengen der Wirtschaftsdünger erfolgte über Pumpenlaufzeiten, die Menge der Feststoffe wurde durch den Betreiber im Messzeitraum eingewogen.

Biogasanlage des Betriebes M

Der Betrieb M betreibt im östlichen Brandenburg eine Biogasanlage zur Monofermentation von nachwachsenden Rohstoffen (**Abb. II.1.4-4**). Als Substrate für die Anlage dienen üblicherweise Getreide (Roggen- und Maissilage) sowie Sonnenblumen, die auf einer Fläche von ca. 220 ha angebaut werden. Eine Zufütterung von Gülle fand nur in der Anfahrphase zur Animpfung der Biogasanlage mit Bakterienkulturen statt. Während des Monitorings erfolgte zusätzlich zur Zugabe der Versuchssilagen die Zufuhr von Gerstenkorn in den Fermenter und Nachgärer.

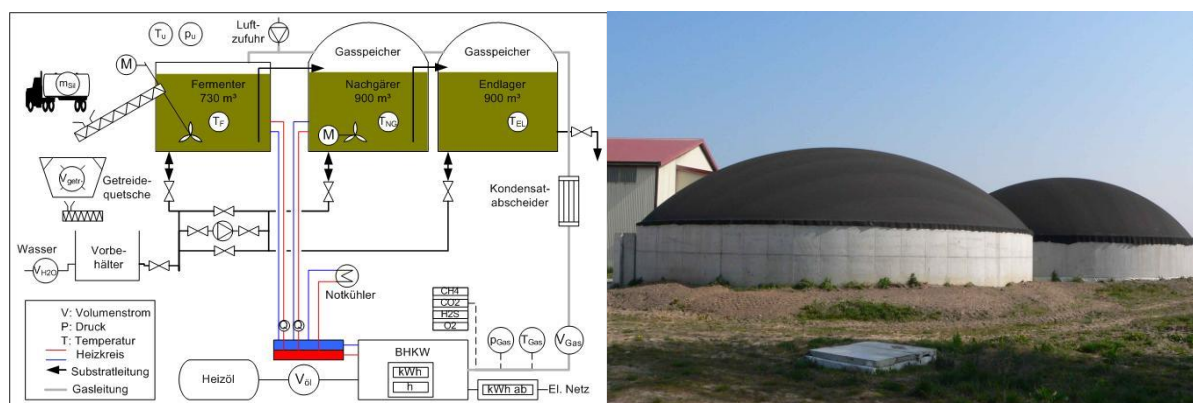


Abb. II.1.4-4: Biogasanlage Betrieb M

Die Anlage wurde 2003 in Betrieb genommen und besteht aus einer Vorgrube, einem Fermenter mit 750 m³ Arbeitsvolumen sowie Nachgärer und Endlager mit jeweils 900 m³ Arbeitsvolumen. Fermenter, Nachgärer und Endlager sind als stehender Beton-Rundbehälter ausgeführt. Der Fermenter ist mit einer Betondecke ausgestattet, die Gasspeicherung erfolgt im Nachgärbehälter und Endlager unter Foliendächern mit jeweils ca. 500 m³ Speichervolumen. Fermenter und Nachgärer werden über in Wand und Boden eingelassene Rohre auf mesophile Temperaturen geheizt, das Endlager ist unbeheizt. Die Beschickung mit Ganzpflanzensilage (ca. 15 t pro Tag) erfolgt über einen Dosierwagen und eine Förderschnecke in den ersten Fermenter. Getreide (ca. 1 t pro Tag) wird in einer Quetsche vermahlen, in der Vorgrube mit Wasser (ca. 6 m³ pro Tag) vermischt und von dort über die zentrale Pumpe direkt in den Nachgärer dosiert. Um Phosphormangel auszugleichen, werden pro Tag ca. 10 Liter 75%ige Phosphorsäure in den Fermenter gegeben. Der Transport des Gärsubstrates zwischen den Behältern findet durch Überlaufrohre statt. Zudem sind über einen zentralen Pumpensumpf alle Behälter in beliebiger Richtung hydraulisch miteinander verknüpft. Die Durchmischung erfolgt im Fermenter durch ein permanent laufendes Langachsührwerk (Hersteller: Streisal, 11 kW_{el}) und im Nachgärer über ein permanent laufendes hydraulisches Rührwerk (Hersteller: UTS, 7,5 kW_{el}). Das Endlager ist mit einem Tauchmotorrührwerk (Her-

steller: Suma, 11 kW_{el}) ausgestattet, welches zum Aufrühren und Entleeren eingesetzt wird. Die drei Behälter sind gasseitig in Reihe geschaltet und das erzeugte Biogas wird aus dem Endlager über einen Kondensatschacht dem BHKW zugeführt. Die Entschwefelung findet nach dem Fermenter durch Lufteinblasung in die Gasleitung statt (ca. 87 m³ pro Tag). Die Gasverwertung erfolgt über zwei Zündstrahl-BHKW (Hersteller: Dreyer und Bosse) mit jeweils 250 kW installierter elektrischer Leistung. Momentan läuft nur ein BHKW kontinuierlich, das zweite wird bei Bedarf zugeschaltet.

Messtechnik: Für die Gasmengenmessung sind die BHKW mit Turbinenradgaszählern (Hersteller: RMG) ausgestattet. Zur Gasnormierung wurden Druck- und Temperatursensoren in der Gasstrecke nachgerüstet. Eine Gasanalytik für Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff sowie Schwefelwasserstoff wurde ebenfalls nachinstalliert (Hersteller: Pronova). Über die Steuerung des BHKW werden Betriebsstunden sowie die bereitgestellte elektrische Leistung erfasst. Der Zündölverbrauch wird über einen Durchflusszähler (Hersteller: Aqua Metro) gemessen. Für den elektrischen Eigenverbrauch der Anlage stand keine Messtechnik zur Verfügung. Die Menge der Feststoffe wurde durch den Betreiber im Messzeitraum eingewogen.

II.2 Ergebnisse

II.2.1 Einfluss von Silierparametern auf Substratqualität und Biogasausbeute in Laborversuchen

II.2.1.1 Einfluss der Pflanzenart

Die Wahl von Pflanzenart und Sorte sowie ihre Eingliederung in Fruchtfolge und Anbausystem spielt für die Verfahrensgestaltung bei der Bereitstellung von pflanzlichen Substraten für die Biogasproduktion eine entscheidende Rolle. Hierdurch wird der Rahmen für anbautechnische Maßnahmen, Ernte und maximal erzielbare Biogasausbeuten in der Biogasanlage festgelegt. Geeignete Pflanzenarten zeichnen sich neben einer guten Silierbarkeit auch durch möglichst hohe, auf den Inhaltsstoffen basierende spezifische Biogasbildungspotenziale aus. Auf beide Faktoren kann durch den Erntetermin Einfluss genommen werden, wobei die Variation des Erntezeitpunktes durch die Fruchtfolge und die Anforderungen der Silierung Grenzen gesetzt sind. Im Folgenden werden Ergebnisse zu Siliereignung und Gärqualität, zu Inhaltsstoffen und Biogasausbeuten von Silagen untersuchter Pflanzenarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes dargestellt.

Gärqualitäten der untersuchten Pflanzenarten

Die Konservierung (Silierung) der pflanzlichen Biomasse ist notwendig, um ganzjährig Substrate für Biogasanlagen zur Verfügung stellen zu können. Die Silierbarkeit eines Pflanzenmaterials wird wesentlich vom Trockenmasse- und Zuckergehalt, der Pufferkapazität sowie vom epiphytischen Besatz an Mikroorganismen beeinflusst.

Die Silagebereitung ist für die Konservierung von Futterpflanzen ein gut untersuchtes, etabliertes Verfahren in der Praxis; für einige Pflanzenarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes jedoch ist über die Silierbarkeit nichts bekannt.

Die Eignung von Pflanzenmaterial für die Silierung wird als Vergärbarkeit bezeichnet. Als Maß dafür gelten der Trockenmassegehalt sowie der Z/PK- Quotient, die in folgendem Zusammenhang stehen:

$$VK = TM + 8 Z/PK$$

Dabei sind:

VK Vergärbarkeitskoeffizient

TM Trockenmasse [%]

Z/PK Zuckergehalt [g/ kg TM]/ Pufferkapazität [g Milchsäure/ kg TM]

Von allen Frischmassen (FM), die auch siliert werden sollten, wurden die VK ermittelt, bewertet und den tatsächlichen erreichten Silagequalitäten gegenübergestellt.

Es sollte somit geprüft werden, ob die für Futterpflanzen gültige Bewertung der Vergärbarkeit als Maß für die Siliereignung auch auf Energiepflanzen anwendbar sein kann.

Die Bewertung der Silagequalität erfolgte mit Hilfe des DLG-Schlüssels (DLG 2006). Anhand der Merkmale „Nährstoffabbau“ und „Gärungsverlauf“ wurde eine Beurteilung des Konservierungserfolgs vorgenommen. Das ermittelte Ergebnis gibt u.a. Hinweise zu aufgetretenen Verlusten und der Stabilität der Silage unter anaeroben Bedingungen.

In den **Tab. II.2.1.1-1** bis **II.2.1.1-3** sind die experimentell ermittelten VK der für Silierversuche genutzten FM in Bezug zu den erzielten Gärqualitäten der Silagen für verschiedene Pflanzenarten zusammengestellt.

Im Bereich der mittels VK als „schwer silierbar“ eingestuftten Pflanzen (Tab. II.2.1.1-1) sind die TM-Gehalte z. T. sehr niedrig. Das resultiert häufig daraus, dass die Proben vor dem üblichen Erntetermin, entsprechend der Versuchspläne, geerntet wurden. Trotzdem konnten die Silagequalitäten, mit gut und sehr gut bewertet werden. Die in Modellversuchen gut beherrschbare Siliertechnik hat sicherlich wesentlich zu diesen Ergebnissen beigetragen. In der Praxis dürften diese Ergebnisse nicht ohne besondere Maßnahmen wie Anwelken und/oder Silierzusätze zu erreichen sein.

Bei den nicht „typischen“ Futterpflanzen wie Ölrettich, Senf, Sonnenblumen, Sudangras, Topinambur und Raps gibt es erhebliche Differenzen zwischen der Bewertung der Silierfähigkeit mittels VK und dem Siliererfolg. Letztere ist erheblich besser als die Voraussage mittels VK. Zu beachten sind dabei auch die großen Spannweiten der Koeffizienten, die bisweilen in den nächst höheren Bewertungsbereich reichen. Beispielhaft seien hier Sonnenblume und Sudangras genannt.

Tab. II.2.1.1-1: Schwer silierbare Frischmassen (VK < 35) und Silagequalität aus Modellversuchen

Gutarten	Probenanzahl	TM [% FM]	Vergärbarkeitskoeffizienten			Silagequalitäten	
			Mittelwert	Min.	Max.	Punkte	Note
Ölrettich	5	8,9	9	7	18	87	2
Senf	3	14,0	14	12	16	91	1
Futtererbse	2	15,3	16	10	21	100	1
Wechseltriticale	1	16,0	17	-	-	80	2
Sonnenblume	4	17,6	21	15	26	92	1
Luzerne/Gras	4	20,1	21	17	20	87	2
Grünschnittrögen	15	25,0	32	16	38	76	2
Sommerraps	1	29,9	32	-	-	84	2
Gras A1	6	20,8	34	21	42	80	2
Sudangras	32	23,0	34	17	54	98	1
Wintertriticale/Winterraps	1	27,3	34	-	-	95	1

Die erreichten Silagequalitäten der mittelschwer bis leicht silierbaren FM im oberen TM-Bereich (≥ 35 bis 50 %) (**Tab. II.2.1.1-2**) entsprechen den Erwartungen mit Ausnahme der Silagequalität für Sommertriticale. Für diese Bewertung waren die hohen Buttersäuregehalte verantwortlich, möglicherweise durch mangelnde Siliertechnik verursacht. Bei Miscanthus ist eine verallgemeinernde Aussage schwierig, da es nur zwei Einzelversuche gegeben hat, bei denen sich die FM deutlich in ihrem VK unterschieden.

Tab. II.2.1.1-2: Mittelschwer bis leicht silierbare Frischmassen (VK > 35) im oberen Trockenmassenbereich (≥ 35 bis 50 %) und Silagequalität aus Modellversuchen

Gutarten	Probenanzahl	TM [% FM]	Vergärbarkeitskoeffizienten			Silagequalitäten	
			Mittelwert	Min.	Max.	Punkte	Note
Topinambur	8	26,4	35	13	45	99	1
Hafer	2	35,4	39	37	41	100	1
Sommergerste	2	38,9	42	38	45	100	1
Miscanthus	2	40,5	42	37	48	56	4
Sommertriticale	1	35,2	44	-	-	31	4
Erbse-Hafer-Leindotter	2	40,0	47	41	52	57	3
Wintertriticale	21	40,2	56	34	73	91	1
Sommerhafer	1	49,4	56	-	-	67	3

Die Silagen der mittelschwer bis leicht silierbaren FM im unteren TM-Bereich (< 35 %) (Tab. II.2.1.1-3) wurden alle mit „gut“ oder „sehr gut“ bewertet. Das ist z.T. nicht zu erwarten gewesen, da in diesen Probenpool auch Proben eingegangen sind, die zu suboptimalen Terminen geerntet wurden und bei denen geringere TM-Gehalte und häufig auch geringe Zuckergehalte ermittelt wurden. Dass trotzdem gute Silagen z. B. von den Grasmischungen oder dem perennierenden Roggen erzielt wurden, ist sicherlich der guten Siliertechnik der Modellversuche zuzuschreiben.

Tab. II.2.1.1-3: Mittelschwer bis leicht silierbare Frischmassen (VK > 35) im unteren Trockenmassbereich (< 35 %) und Silagequalität aus Modellversuchen

Gutarten	Proben- anzahl	TM [% FM]	Vergärbarkeitskoeffizienten			Silagequalitäten	
			Mittelwert	Min.	Max.	Punkte	Noten
Zuckerhirse	3	21,6	34	29	40	99	1
Gras A3 + Rotklee	5	20,7	35	26	45	75	2
perennierender Roggen	6	28,8	36	26	45	88	2
Gras A3	19	28,6	41	22	67	78	2
Mais	66	28,1	42	17	64	97	1
Sommerroggen	11	34,3	44	16	64	80	2

In der **Tab. II.2.1.1-4** sind alle silierten FM nach der Bewertung der Silagequalität geordnet.

Tab. II.2.1.1-4: Silagequalität aller untersuchten Frischmassen aus Modellversuchen

Gutarten	Silagequalität		Mittlere Vergär- barkeits- koeffizienten	TM [% FM]	Proben- anzahl
	Punkte	Noten			
Futtererbse	100	1	16	15,3	2
Hafer	100	1	39	35,4	2
Sommergerste	100	1	42	38,9	2
Topinambur	99	1	35	26,4	8
Zuckerhirse	99	1	40	22,5	4
Sudangras	98	1	34	23,0	32
Mais	97	1	42	28,1	66
Wintertriticale/Winterraps	95	1	34	27,3	1
Sonnenblume	92	1	21	17,6	4
Senf	91	1	14	14,0	3
Wintertriticale	91	1	56	40,2	21
perennierender Roggen	88	2	36	28,8	6
Luzerne/ Gras	87	2	21	20,1	4
Ölrettich	87	2	9	8,9	5
Sommerraps	84	2	32	29,9	1
Sommerroggen	80	2	44	34,3	11
Grünschnittroggen	80	2	30	23,9	12
Gras A1	80	2	34	20,8	6
Wechseltriticale	80	2	17	16,0	1
Gras A3	78	2	41	28,6	19
Gras A3 + Rotklee	75	2	35	20,7	5
Sommerhafer	67	3	56	49,4	1
Erbse-Hafer-Leindotter	57	3	47	40,0	2
Miscanthus	56	4	42	40,5	2
Sommertriticale	31	4	44	35,2	1

Futtererbsen, verschiedene Getreidearten (Hafer, Wintertriticale, Sommergerste) Mais, Topinambur, Hirsen, Sonnenblumen und Senf erreichten sehr gute Silagequalitäten, gefolgt von

Grasmischungen, verschiedenen Roggenarten (perennierender Roggen, Sommerroggen, Grünschnittroggen), Wechseltriticale, Ölrettich und Sommerraps mit guten Qualitäten. Lediglich Miscanthus und Sommertriticale lieferten schlechte Silagen, allerdings liegt diesen Ergebnissen ein sehr kleiner Stichprobenumfang zugrunde. Sehr schlechte Silagen wurden nicht ermittelt.

Fazit: Zusammenfassend kann derzeit festgestellt werden, dass bei Pflanzenfrischmassen im unteren TM-Bereich (< 35 %) eine gute Übereinstimmung zwischen der Siliereignung, ermittelt anhand des VK und der Silagequalität besteht.

In oberen TM-Bereich (> 35%) gab es bei Sommertriticale und Miscanthus eine deutliche Differenz zwischen einer „guten Siliereignung“ und den erreichten Silagequalitäten (Note 4). Die größten Differenzen gab es bei den als „schwer silierbar“ bewerteten FM. Hier konnten durchgehend „gute“ und „sehr gute“ Silagen erreicht werden. Inwieweit dafür auch die besonders gute Siliertechnik des Modellversuches eine Rolle spielt, sollte in Praxisansätzen geprüft werden.

Die Frage, ob mittels des VK auch bei „untypischen“ Pflanzen eine Aussage zur Siliereignung in der Praxis getroffen werden kann, sollte auch weiterhin verfolgt werden. Dazu ist jedoch eine größere Anzahl von Proben notwendig. Die zur Auswertung herangezogenen Proben weisen einen sehr unterschiedlichen Stichprobenumfang auf. Relativ gesichert scheinen die Aussagen zu Grünschnittroggen, Sudangras, Mais und Grasmischung A3.

Biogasausbeuten untersuchter Pflanzenarten und Mischungen

Das Biogasbildungspotenzial einer Pflanzenart ist in erster Linie von der chemischen Zusammensetzung des Pflanzenmaterials zur Ernte abhängig. Dabei wird allgemein aus Kohlenhydraten und Proteinen die niedrigste und aus Fetten die höchste Biogasausbeute erzielt (BADGER ET AL. 1979, LINKE ET AL. 2006). Ligninanteile und Lignin-Cellulose-Komplexe gelten als im Biogasprozess sehr schwer oder nicht abbaubar und mindern daher die Biogasausbeute (WEILAND 2001). Die **Abb. II.2.1.1-1** und **II.2.1.1-2** zeigen die mittleren Werte der Rohnährstoffe (Weenders-Analyse) und Biogasausbeuten der zum Standardtermin (im Projekt festgelegtes BBCH) geernteten und silierten Biomassen der untersuchten Pflanzenarten bzw. Mischungen aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes. In der **Tab. A1** sind die Rohnährstoffe der Pflanzenarten und Mischungen als Werte getrennt nach den Erntejahren aufgeführt.

Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der Pflanzenarten waren vorrangig im Rohfaser- und Aschegehalt zu finden. Der Gehalt an Rohasche lag im Mittel zwischen 4 und 27 % TM und war insbesondere bei Pflanzenarten, deren Ernte zu einem frühen Entwicklungsstadium erfolgte, wie Ölrettich, Wechseltriticale und Luzernegras, hoch. Da die Rohasche nicht zur Biogasbildung beiträgt, wirken sich hohe Rohaschegehalte nachteilig auf die Biogasausbeute bezogen auf die FM des Substrates aus. Die mittleren Rohfasergehalte der Pflanzenarten wiesen eine Spanne von 29 % TM auf. Hohe Rohfasergehalte wurden vor allem bei mehrjährigen Pflanzenarten, wie Miscanthus, Alant und Resede, aber auch bei Sommerraps und Roggen, gemessen. Mais sowie früh geerntete Pflanzenarten (Ölrettich, Wechseltriticale) wiesen geringe Rohfasergehalte auf. Der Gehalt an Rohfett lag überwiegend zwischen 1 und 4 % TM und unterschied sich bei den untersuchten Pflanzenarten daher nur gering. Lediglich bei den Sonnenblumensilagen wurde ein mittlerer Rohfettgehalt von über 8 % TM analysiert.

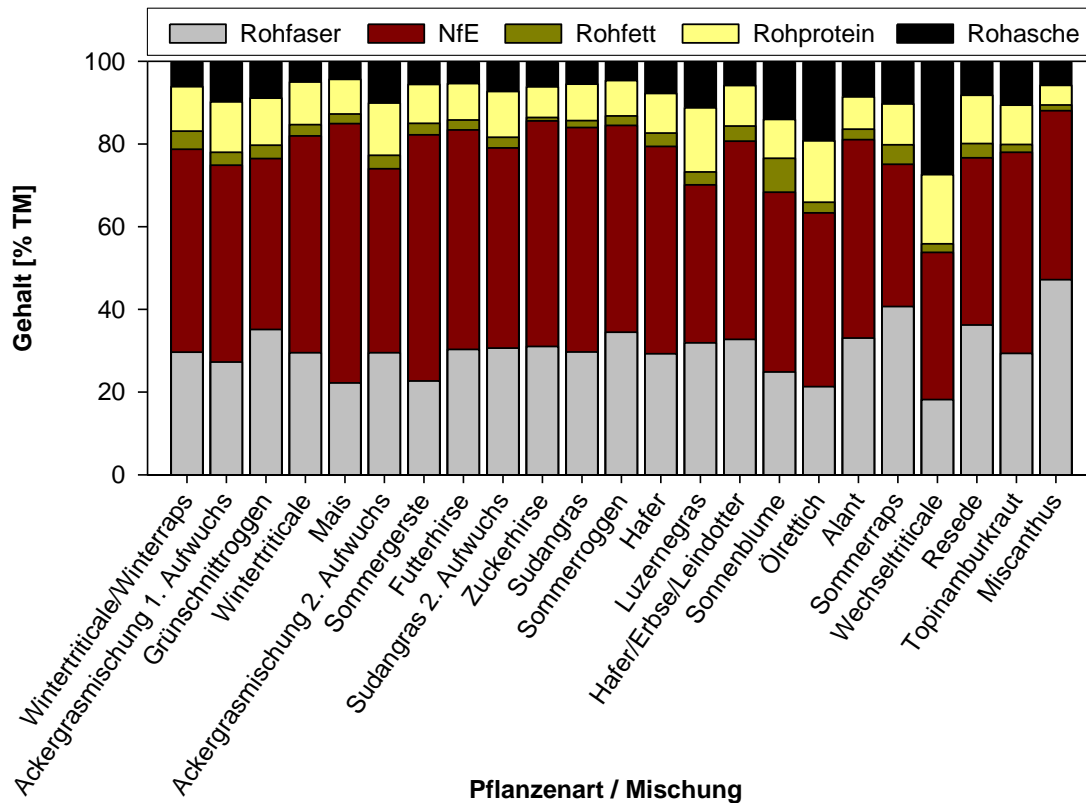


Abb. II.2.1.1-1: Chemische Zusammensetzung untersuchter Pflanzenarten und Mischungen (Mittelwerte)

Hohe Biogasausbeuten bezogen auf die oTM (Abb. II.2.1.1-2) wurden neben dem bisher am häufigsten in Biogasanlagen verwerteten Mais auch von Ackergrasmischungen, Grünschnittroggen und Wintertriticale erzielt. Die einzige untersuchte Mischsilage (Mischung der beiden Pflanzenarten nach der Ernte), eine Mischung aus Wintertriticale und Winterraps erbrachte eine unerwartet hohe Biogasausbeute. Die Erstellung von Mischsilagen vor dem Hintergrund der Verbesserung der Siliereignung und Erhöhung der Biogasausbeute sollte zukünftig noch näher betrachtet werden.

Die Biogasausbeuten verschiedener Sommergetreidearten und Sorghumarten lagen mit 530 bis 560 $I_N \cdot kg^{-1}$ oTM im mittleren Bereich. Die geringsten Biogasausbeuten wurden bei den mehrjährigen Pflanzenarten Topinambur und Miscanthus ermittelt. Dabei lag die Biogasausbeute um 30 bzw. 40 % (relativ) unterhalb der mittleren Biogasausbeute des Mais. Ursache hierfür waren hohe Ligningehalte im Erntegut dieser Pflanzenarten.

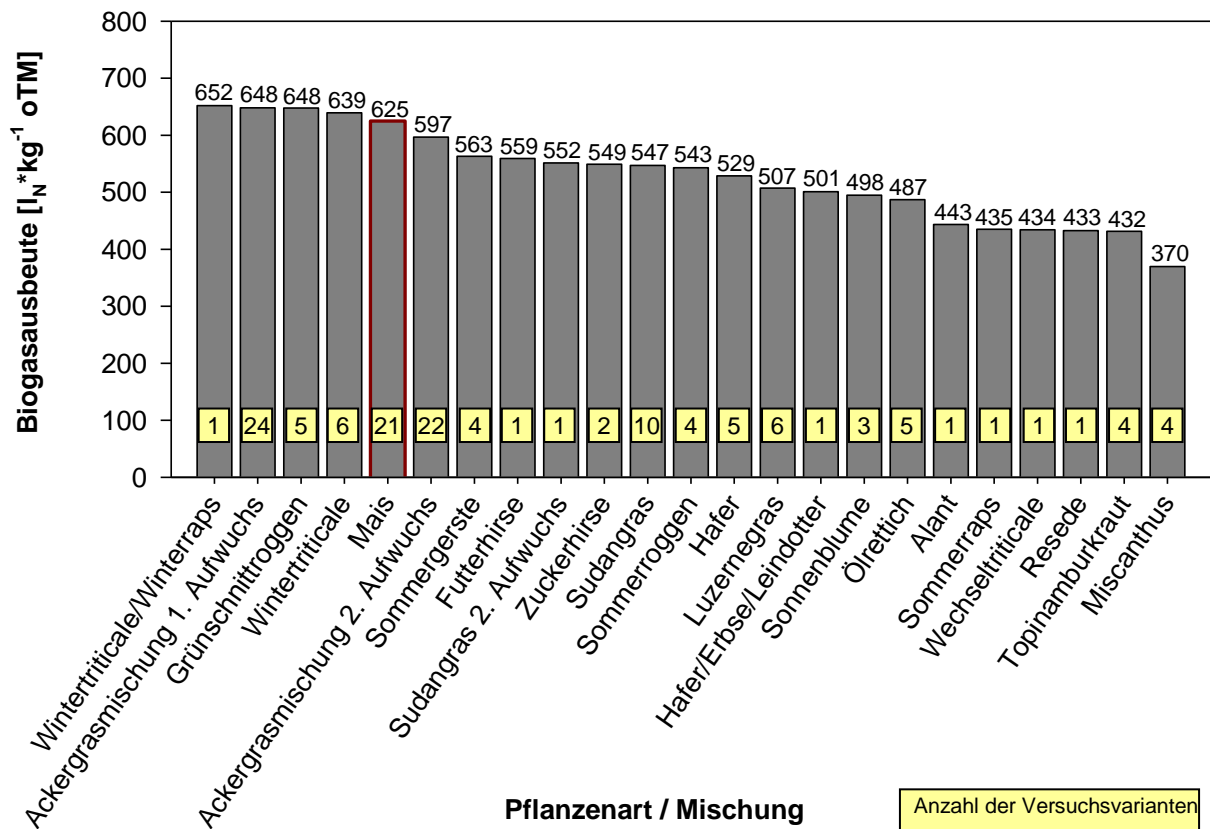


Abb. II.2.1.1-2: Biogasausbeuten untersuchter Pflanzenarten und Mischungen (Mittelwerte)

Zwischen den mittleren Gehalten an Lignin (ADL) sowie Lignin und Cellulose (ADF) und den mittleren Biogasausbeuten bezogen auf oTM der untersuchten Pflanzenarten wurde ein signifikanter Zusammenhang ermittelt (Abb. II.2.1.1-3).

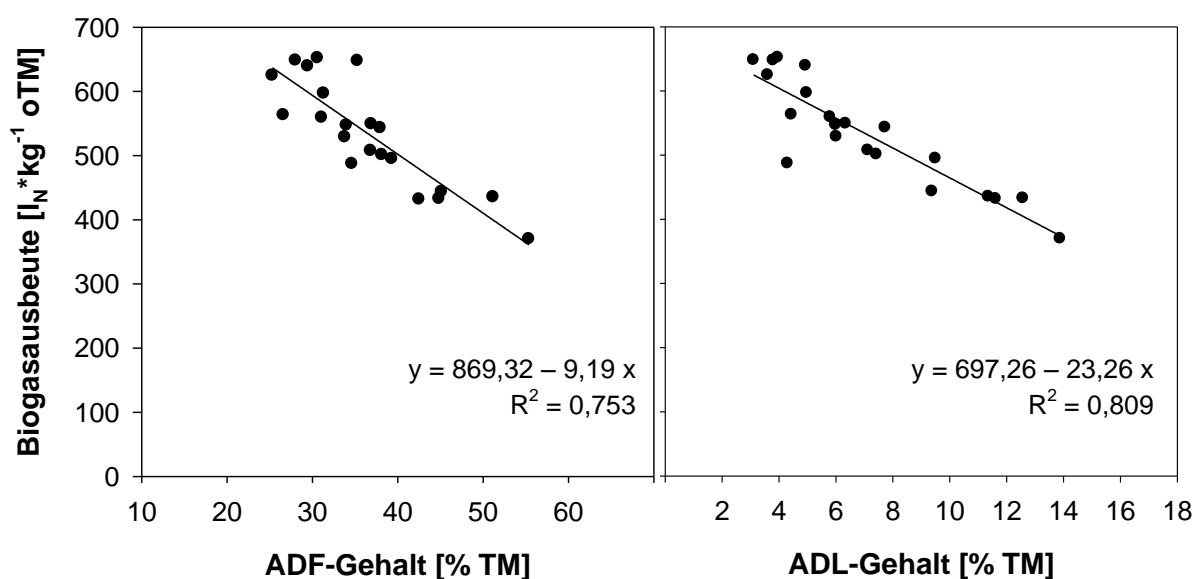


Abb. II.2.1.1-3: Zusammenhang zwischen ADF- bzw. ADL-Gehalten und Biogasausbeuten untersuchter Pflanzenarten und Mischungen

Mit Wechsel der Bezugsbasis (FM) wurden die höchsten Biogasausbeuten von Mais und den Getreidearten gemessen (**Tab. A2**). Sonnenblumen- und Ölrettichsilagen wiesen aufgrund des niedrigen TM-Gehaltes und hohen Rohaschegehaltes zur Ernte die geringsten Biogasausbeuten bezogen auf die FM auf. Der mittlere Methangehalt im Biogas lag bei den untersuchten Pflanzenarten im Batch-Gärtest zwischen 54 und 63 Vol-%. Mit abnehmenden Gehalten an NfE im Pflanzenmaterial wurden zunehmende Methangehalte im Biogas ermittelt. Die höchsten Methangehalte von über 60 Vol-% enthielt daher das Biogas aus Luzernegras, Sommerraps, Miscanthus und Wechseltriticale.

Die untersuchten Varianten einer Pflanzenart unterschieden sich in Standort und Sorte, Erntejahr und zum Teil im Entwicklungsstadium zur Ernte. Bei den Ackerfuttermischungen wurden verschiedene Schnittregime und Mischungspartner geprüft (**Abschnitt II.2.1.2**). Innerhalb einer Pflanzenart wurden dabei teilweise erhebliche Unterschiede in der Biogasausbeute gemessen. In Tab. A2 sind für die untersuchten Pflanzenarten Mittelwerte und Spannweiten der Biogasausbeuten bezogen auf FM und oTM sowie der Methangehalte getrennt nach Erntejahr mit Information zu Standort und Entwicklungsstadium aufgeführt. **Abb. II.2.1.1-4** zeigt am Beispiel von Mais die Biogasausbeuten der Erntejahre 2005 bis 2007 für die unterschiedlichen Standorte bzw. Maissorten zum Standarderntetermin. Zwischen den Standorten/Sorten wurden dabei Unterschiede von 10 bis 11 % innerhalb eines Jahres, zwischen den Jahren Unterschiede bis 17 % gemessen.

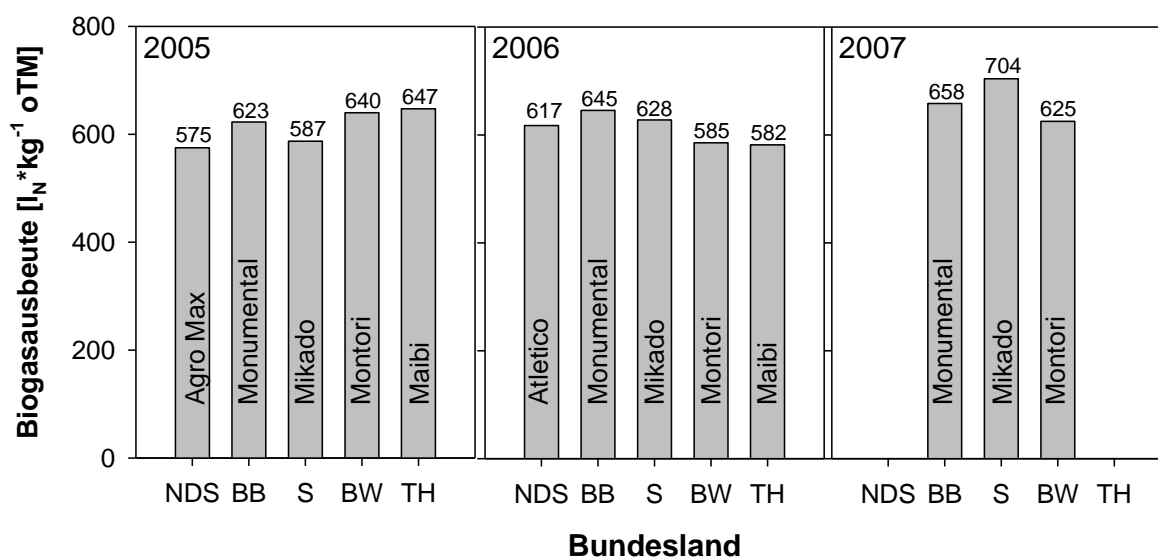


Abb. II.2.1.1-4: Biogasausbeuten untersuchter Maissilagen verschiedener Standorte/Sorten im Erntejahr 2005 bis 2007

Fazit: Die Pflanzenarten oder Mischungen bestimmen die chemische Zusammensetzung eines Pflanzenmaterials zur Ernte und beeinflussen damit wesentlich das Biogasbildungspotenzial. Insbesondere der Ligninanteil bzw. der Anteil an Lignin und Cellulose bestimmen die Höhe der Biogasausbeute. Hohe Biogasausbeuten wurden von Pflanzenarten mit geringen Ligningehalten, wie Mais, Ackergrasmischungen und verschiedene Getreide-Ganzpflanzensilagen (GPS) erzielt. Der Effekt der Pflanzenart auf die Substratzusammensetzung und Biogasausbeute wird jedoch von einer Reihe weiterer Einflussfaktoren überlagert. Neben der Pflanzenart spielen unter anderem auch Standort und Witterungsbedingungen, Anbaubedingungen, Sorte, Erntetermin und Konservierungserfolg eine Rolle.

II.2.1.2 Einfluss des Erntezeitpunktes

An den Standorten Ettlingen (Baden Württemberg) und Güterfelde (Brandenburg) wurde von den Projektpartnern Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) und Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF) der Fruchtfolgeversuch zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet. Hierbei fand neben dem im Projekt festgelegten Standardtermin (2. Ernte) zusätzlich eine etwa 14 Tage frühere Ernte (1. Ernte) statt. Ausgewählte Fruchtarten (**Tab. II.2.1.2-1**) wurden am ATB hinsichtlich der Gärqualität erzeugter Silagen, der chemischen Zusammensetzung und Biogasausbeute im Batch-Gärttest an beiden Ernteterminen geprüft.

Tab. II.2.1.2-1: Beschreibung der an jeweils zwei Ernteterminen untersuchten Varianten

Pflanzenart / Stellung i. d. FF	Sorte	Bundesland	Ernte	Erntedatum	BBCH
Mais/ Hauptfrucht	Fiacre	BW	1. Ernte	06.09.2005	83
			2. Ernte	15.09.2005	84
Mais/ Hauptfrucht-	Montori	BW	1. Ernte	15.09.2005	83
			2. Ernte	21.09.2005	84
Mais/ Hauptfrucht	Monumental	BB	1. Ernte	02.08.2005	67 – 71
			2. Ernte	05.09.2005	75
Mais/ Hauptfrucht	Monumental	BB	1. Ernte	18.08.2006	79
			2. Ernte	01.09.2006	83 – 85
Mais/ Hauptfrucht	Monumental	BB	1. Ernte	22.08.2007	83
			2. Ernte	29.08.2007	85
Mais/ Zweitfrucht	Apostrof	BB	1. Ernte	18.09.2006	85
			2. Ernte	25.09.2006	87
Mais/ Zweitfrucht	Apostrof	BB	1. Ernte	29.08.2007	83
			2. Ernte	03.09.2007	85
Sudangras	Susu	BW	1. Ernte	11.08.2005	55
			2. Ernte	15.09.2005	83
Sudangras/Zweitfrucht	Susu	BB	1. Ernte	29.09.2006	65 – 75
			2. Ernte	12.10.2006	75 – 79
Sudangras	Susu	BB	1. Ernte	30.08.2007	75
			2. Ernte	12.09.2007	83
Zuckerhirse	Super Sile 20	BW	1. Ernte	06.09.2005	67
			2. Ernte	15.09.2005	82
Sonnenblume	Alisson	BW	1. Ernte	20.07.2005	73
			2. Ernte	04.08.2005	83
Sonnenblume	Pegasol	BB	1. Ernte	24.07.2006	69 – 73
			2. Ernte	04.08.2006	83
Grünschnittroggen	Vitallo	BB	1. Ernte	11.05.2006	49
			2. Ernte	17.05.2006	59
Grünschnittroggen	Vitallo	BB	1. Ernte	25.04.2007	49
			2. Ernte	03.05.2007	59
Sommerroggen	Sorom	BB	1. Ernte	30.06.2005	75
			2. Ernte	12.07.2005	83
Sommerroggen	Sorom	BB	1. Ernte	28.06.2006	71 – 73
			2. Ernte	10.07.2006	83
Sommergerste	Pasadena	BW	1. Ernte	30.06.2005	57
			2. Ernte	11.07.2005	58
Hafer	Atego, Freddy, Dominik	BW	1. Ernte	30.06.2005	59
			2. Ernte	11.07.2005	59
Wintertriticale	Benetto	BB	1. Ernte	21.06.2006	71 – 73
			2. Ernte	04.07.2006	83
Wintertriticale	Benetto	BB	1. Ernte	31.05.2007	75
			2. Ernte	06.06.2007	81
Topinamburkraut, 1-jährig	Rote Zonenkugel	BB	1. Ernte	09.08.2005	39
			2. Ernte	20.09.2005	59
Topinamburkraut, 2-jährig	Rote Zonenkugel	BB	1. Ernte	26.09.2006	39 – 49
			2. Ernte	09.10.2006	55 – 59
Topinamburkraut, 3-jährig	Rote Zonenkugel	BB	1. Ernte	30.08.2007	39
			2. Ernte	12.09.2007	39

Daten zu den **Gärsäuremustern** der untersuchten Silagen, TM-Verlusten bei der Silierung und die Bewertung der Gärqualität bei Variation des Erntetermins sind in **Tab. A3** aufgeführt. Die Silagen der untersuchten Fruchtarten Mais, Sudangras, Zuckerhirse, Wintertriticale und Topinamburkraut wiesen in allen drei Versuchsjahren eine sehr gute Gärqualität bei Bewertung nach DLG-Schlüssel (2006) auf und zeigten kaum Unterschiede zwischen den beiden Ernteterminen. Es wurden allgemein geringe pH-Werte, ein überwiegender Anteil an Milchsäure (Gehalte bis 9,6 % TM) und vernachlässigbar geringe Buttersäuregehalte bis maximal 0,1 % TM in den Silagen analysiert. Bei Mais der Sorte Monumental und bei Topinambur wurden lediglich zur ersten Ernte im Jahr 2005, die bei diesen beiden Varianten bei einem sehr geringen TM-Gehalt von 14 bzw. 15 % stattfand, eine etwas geringere Punktzahl bei der Bewertung der Gärqualität erreicht. Die gemessenen TM-Verluste durch Fermentationsprozesse bei der Silierung lagen mit 0,8 bis 7,4 % im unteren bis mittleren Bereich. Zur früheren Ernte wurden überwiegend geringere TM-Gehalte, höhere Milchsäuregehalte in den Silagen und etwas höhere Fermentationsverluste ermittelt.

Die Ernte der Sonnenblumen erfolgte im Jahr 2005 und 2006 an beiden Ernteterminen bei geringen TM-Gehalten von 17 bis 23 %. Das Erntegut wies hohe Pufferkapazitäten auf und war entsprechend schwer silierbar. Dies führte jedoch nur bei der zum zweiten Termin im Jahr 2005 konservierten Sonnenblumensilage zu Buttersäurebildung und „verbesserungsbedürftigen“ Gärqualitäten. Ursache war sicherlich der Zuckergehalt im Ausgangsmaterial, der bei dieser Variante mit 0,6 % TM extrem niedrig war.

Bei Grünschnittroggen wurden insbesondere im Jahr 2006 geringe Zuckergehalte im Erntegut gemessen, wobei auch hier zum späteren Erntetermin der Gehalt an Zucker zusätzlich abnahm. Zur zweiten Ernte wurden hier geringe Milchsäuregehalte, ein verhältnismäßig hoher pH-Wert und mit 11 % hohe Fermentationsverluste ermittelt. Die übrigen Grünschnittroggensilagen wiesen „sehr gute“ Gärqualitäten auf.

Der Sommerroggen wurde bereits zum ersten Termin im Entwicklungsstadium der Milchreife mit hohen TM-Gehalten von 37 bis 38 % geerntet. Zur zweiten Ernte im Entwicklungsstadium der Teigreife nahmen die TM-Gehalte im Erntejahr 2006 noch einmal deutlich zu. Sehr hohe TM-Gehalte erschweren die Verdichtung bei der Silierung und machen die Silagen anfällig für das Wachstum von Hefen und Schimmelpilzen (BUXTON & O'KIELY 2003). In den Laborsilos wurden im Erntejahr 2006 an beiden Terminen Silagen mit „sehr guter“ Gärqualität erzeugt. Diese waren jedoch durch geringe Gehalte an Milchsäure und entsprechend hohe pH-Werte gekennzeichnet. Die 2005 erzeugten Silagen wurden hingegen zu beiden Ernteterminen hinsichtlich ihrer Gärqualität als „schlecht“ bewertet. Es wurden Buttersäuregehalte von im Mittel 1,5 bzw. 2,6 % TM und Fermentationsverluste von 7 bis 10 % gemessen. Ursache für die Buttersäurebildung könnte ein niedriger Nitratgehalt im Erntegut gewesen sein. Nach STEINHÖFEL & THAYSEN (2006) besitzen Getreideganzpflanzen in der Teigreife einen niedrigen Nitratgehalt, wodurch die Gefahr der Buttersäurebildung durch Clostridien besteht. Der Nitratgehalt wurde jedoch bei den vorliegenden Untersuchungen nicht analysiert, daher ist keine eindeutige Aussage diesbezüglich möglich.

Die Ergebnisse der **Weenders-Analyse** sowie die **Biogasausbeuten** bezogen auf die organische Trockenmasse der Silagen sind für die untersuchten Fruchtarten mit Variation des Erntetermins in den **Abb. II.2.1.2-1 bis II.2.1.2-3** sowie in den **Tab. A4 und A5** dargestellt.

Bei dem untersuchten Mais nahmen mit späterer Ernte die Rohfettgehalte grundsätzlich und um bis zu 1,5 % TM zu und die Rohproteingehalte um bis zu 3,5 % TM ab (Abb. II.2.1.2-1). Die Gehalte an Rohasche waren gleichbleibend bzw. nahmen ebenfalls mit späterer Ernte

ab. Der Rohfasergehalt lag zum zweiten Erntetermin überwiegend niedriger als zum ersten Termin, Ausnahmen waren die Maissorten Fiacre (2005) und Apostrof (2007), bei denen eine leichte Zunahme des Rohfasergehaltes mit späterem Erntetermin analysiert wurde. Ebenso wie der Rohfasergehalt nahmen auch die Gehalte an Lignin und Cellulose mit späterer Ernte fast ausschließlich ab. Es ist davon auszugehen, dass die Abnahme der Faserbestandteile mit späterer Ernte in der Mais-Ganzpflanze auf der starken Zunahme des Kornanteils von der frühen Milchreife bis zur Vollreife und der damit verbundenen relativen Abnahme des Blatt- und Stängelanteils beruht. Dabei sind in den Blatt- und Stängelanteilen deutlich höhere Fasergehalte vorhanden als in dem Korn- und Kolbenanteil (GIARDINI ET AL. 1976).

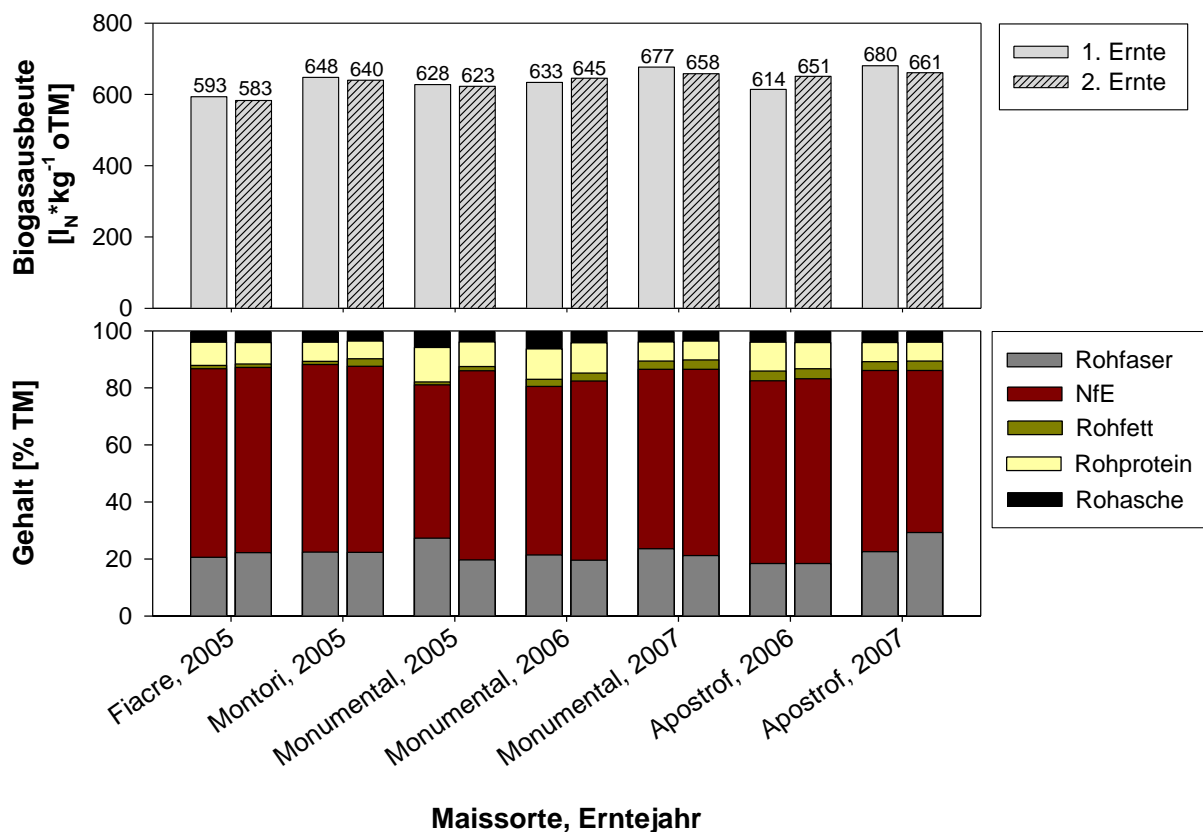


Abb. II.2.1.2-1: Chemische Zusammensetzung und Biogasausbeuten der untersuchten Maisvarianten zu jeweils zwei Ernteterminen

Die Unterschiede in den Biogasausbeuten bezogen auf oTM zwischen den beiden Ernteterminen waren bei Mais gering. In den Erntejahren 2005 und 2007 wurden zur späteren Ernte um 0,8 bis 2,8 % niedrigere Biogasausbeuten gemessen, verglichen mit dem frühen Termin einer Variante, 2006 lagen die Biogasausbeuten zur späteren Ernte um 2 bis 6 % über den Biogasausbeuten des ersten Termins. Etwas höhere Biogasausbeuten zur ersten Ernte wurden zusätzlich durch geringfügig höhere Fermentationsverluste bei der Silierung zum zeitigeren Termin ausgeglichen. Aufgrund der geringen Unterschiede in der Biogasausbeute zwischen den Ernteterminen bezogen auf die oTM und dem Zuwachs an oTM zur späteren Ernte, wurden bezogen auf die geerntete FM zum zweiten Termin um 2 bis 90 % höhere Biogasausbeuten erzielt verglichen mit dem vorzeitigen Erntetermin. Ausnahme war der Mais der Sorte Apostrof (2007), bei dem zum 2. Termin geringfügig niedrigere Biogasausbeuten gemessen wurden als zum 1. Termin.

Ähnliche Ergebnisse wie bei Mais wurden auch bei verschiedenen Hirsen ermittelt. Mit zunehmender Reife der Pflanzen von der Blüte bis zur Mitte der Teigreife konnte keine deutliche Zunahme des Rohfaser- oder Ligningehaltes nachgewiesen werden. Die Biogasausbeuten der oTM nahmen mit späterer Ernte zum Teil zu, zum Teil auch ab. Bezogen auf die FM wurden mit Ausnahme des 2007 geprüften Sudangrases um 12 bis 34 % höhere Biogasausbeuten zum zweiten Termin erzielt verglichen mit der früheren Ernte.

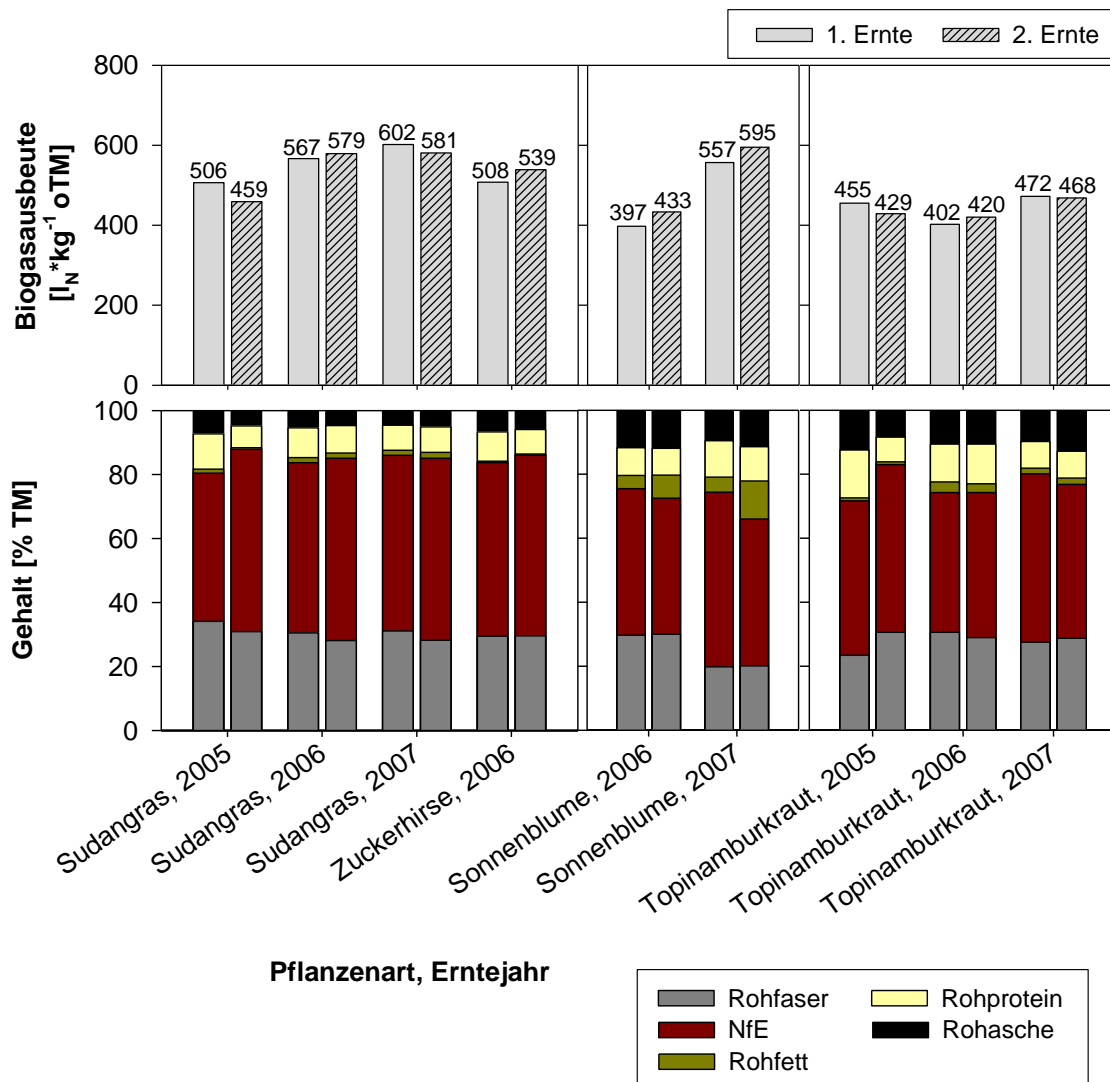


Abb. II.2.1.2-2: Chemische Zusammensetzung und Biogasausbeuten von Hirsen, Sonnenblume und Topinamburkraut zu jeweils zwei Ernteterminen

Bei der Fruchtart Sonnenblume (**Abb. II.2.1.2-2**) wurden zum späteren Erntetermin um 7 bzw. 9 % höhere Biogasausbeuten (Bezugsbasis oTM) oder 10 bzw. 11 % höhere Biogasausbeute (Bezugsbasis FM) als zum ersten Erntetermin gemessen. Dies ist mit der Entwicklung der Samen und damit verbunden einer Zunahme des Rohfettgehaltes um 3 bis 7 % TM zur späteren Ernte bei etwa gleichbleibendem Gehalt an Rohfaser- und Ligninanteilen zu begründen. Auffällig waren große Unterschiede im Rohfasergehalt und der Biogasausbeute zwischen den beiden Ernteterminen bzw. Sorten, die die Unterschiede zwischen den beiden Ernteterminen noch deutlich übertrafen.

Topinamburkraut wurde 2005 mit deutlichen Unterschieden im Rohfaser- und Proteingehalt zwischen den beiden Terminen geerntet. Zur späteren Ernte wurde eine um 6 % niedrigere

Biogasausbeute bezogen auf oTM ermittelt als zur frühen Ernte. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich 2007, die Unterschiede in Substratzusammensetzung und Biogasausbeute zwischen den Ernteterminen waren jedoch wesentlich geringer. Die frühe Ernte 2005 hatte eine verstärkte Verunkrautung dieser Fläche zur Folge, die 2006 zu einem höheren Unkrautanteil und damit zu erhöhten TM- und Rohfasergehalten zum 1. Termin führten. Entsprechend wurden auch geringere Biogasausbeuten zur frühen Ernte 2006 gemessen.

Bei den untersuchten Getreidearten (Abb. II.2.1.2-3) zeigten die Rohprotein-, Rohfaser- und Rohaschegehalte bei Vergleich der Ernteterminen die gleichen Tendenzen wie bei Mais und den Hirsen. Die Biogasausbeute bezogen auf oTM lag zum ersten Erntetermin mit Ausnahme des Hafers um bis zu 14 % über der Biogasausbeute des zweiten Erntetermins. Aufgrund des TM-Zuwachses wurden jedoch bezogen auf die geerntete FM zum zweiten Erntetermin um 1 bis 43 % höhere Biogasausbeuten erzielt. Einzige Ausnahme war der 2005 untersuchte Sommerroggen, bei dem die Biogasausbeute bezogen auf die FM zum späteren Termin um 7 % abnahm.

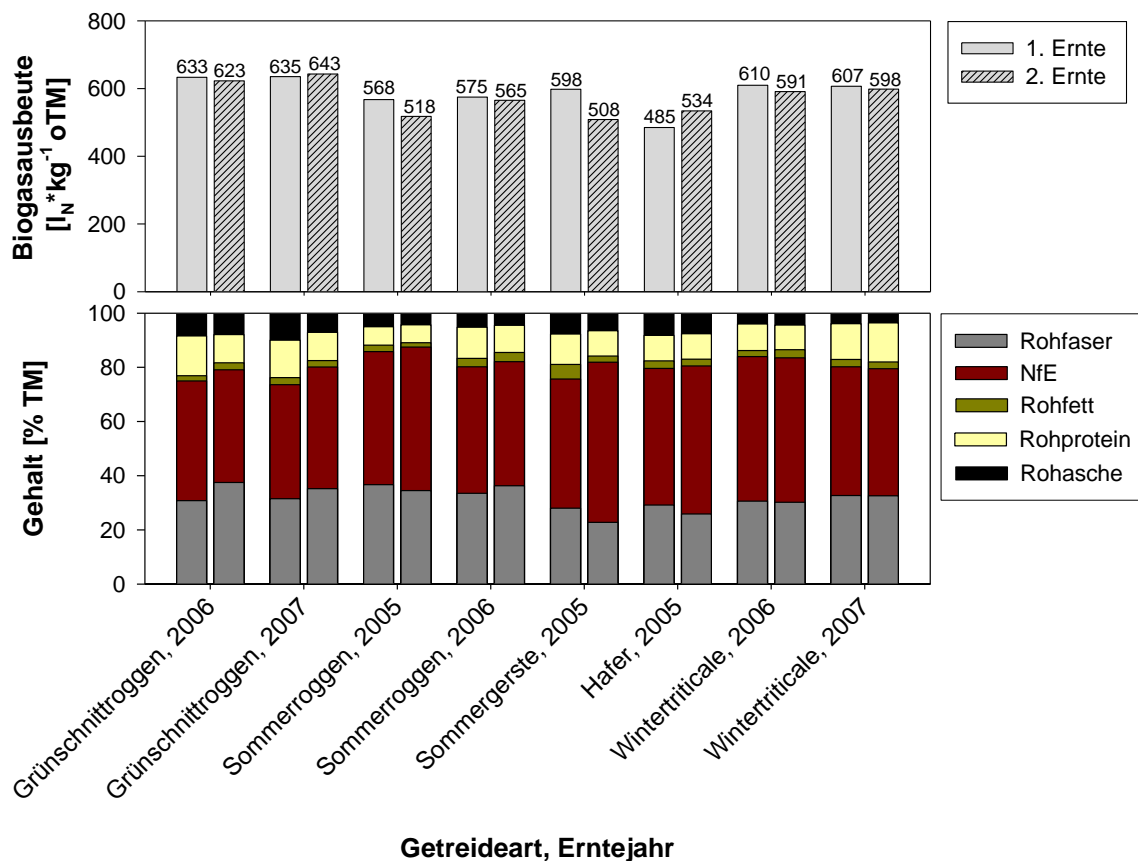


Abb. II.2.1.2-3: Chemische Zusammensetzung und Biogasausbeuten verschiedener Getreidearten zu jeweils zwei Ernteterminen

Fazit: Auf Grundlage der ermittelten Ergebnisse ist festzustellen, dass innerhalb der gewählten Erntezeiträume die Änderungen in der Substratzusammensetzung nur geringe Auswirkungen auf die Biogasausbeute bezogen auf die oTM hatten. Zur späteren Ernte war jedoch zum Teil ein deutlicher Zuwachs an oTM zu verzeichnen. Entsprechend ist bei einer vorzeitigen Ernte mit Einbußen der Biogasausbeute bezogen auf die FM zu rechnen. Zusätzlich kann von geringeren Erträgen bei vorzeitiger Ernte ausgegangen werden. Es bleibt zu prüfen, inwiefern sich eine zeitigere Ernte auf die Etablierung und das Ertragsniveau der Nachfrucht positiv auswirkt.

Ein sehr hoher TM-Gehalt von deutlich über 40 % kann bei Ganzpflanzengetreide ab dem Beginn der Teigreife insbesondere bei sonnig-warmer Witterung schnell erreicht werden. Dies führt zu Problemen bei der Verdichtung im Silo und einem erhöhten Risiko der Nacherwärmung. Bei Ganzpflanzengetreide ist daher die Ernte bei Übergang von der Milch- zur Teigreife zu empfehlen.

Einfluss des Schnittregimes bei Ackergrasmischungen

Im Rahmen des Verbundprojektes wurde an verschiedenen Standorten die Eignung mehrjähriger Ackergräser für die energetische Nutzung untersucht. Dabei wurde ein frühes Schnittregime mit 4 bis 5 Schnitten pro Jahr und ein spätes Schnittregime mit 3 bis 4 Schnitten pro Jahr bei verschiedenen Ackergrasmischungen geprüft (FNR 2008). Silagen der ersten beiden Aufwüchse wurden von drei ausgewählten Standorten hinsichtlich Gärqualität, stofflicher Zusammensetzung und Biogasausbeute am ATB analysiert.

Daten zu den Gär säuremustern der untersuchten Silagen und die Bewertung der Gärqualität der Ackergrasmischungen sind in **Tab. A6** aufgeführt. Die Gärqualität der Grassilagen der einzelnen Varianten war sehr unterschiedlich. Uneinheitliche Anwelkgrade der FM führten zu Unterschieden im Trockenmassegehalt. Bei dem ersten Aufwuchs des frühen Schnittregimes wurden durchgängig Silagen mit „guten“ bis „sehr guten“ Gärqualitäten erzeugt. Mit geringen TM-Gehalten und guten Gärqualitäten waren insbesondere bei den frühen Schnitten hohe Milchsäuregehalte in den Silagen bis 14 % verbunden. Bei den übrigen Varianten wurde zum Teil Buttersäure bis zu Konzentrationen von 2,5 % TM in den Silagen gebildet. Entsprechende Grassilagen wiesen eine „schlechte“ bis „sehr schlechte“ Gärqualität auf. Ein gerichteter Einfluss des Schnittregimes auf die Gärqualität war nicht erkennbar.

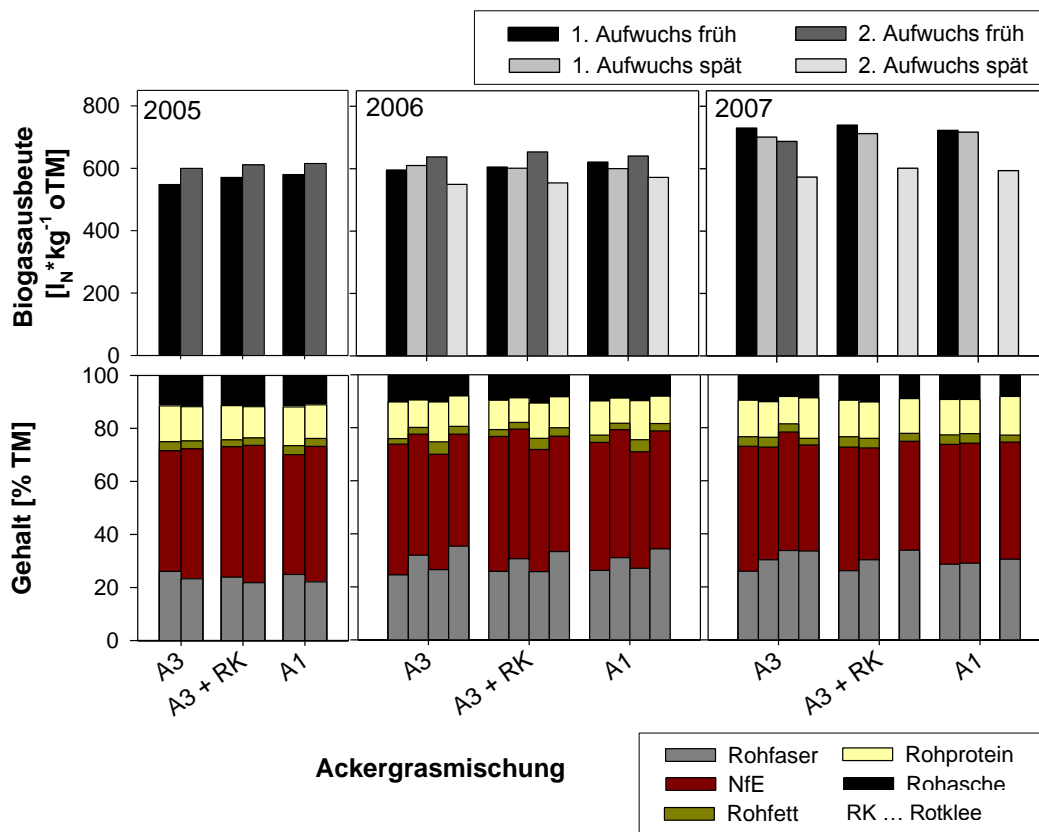


Abb. II.2.1.2-4: Chemische Zusammensetzung und Biogasausbeuten der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime am Standort Wehnen

In **Abb. II.2.1.2-4** ist am Beispiel der analysierten Ackergrasproben des Standortes Wehnen (NDS) die Entwicklung der chemischen Zusammensetzung und der Biogasausbeute dargestellt. Die Werte der Rohnährstoffe und Biogasausbeuten sind in **Tab. A7** und **A8** aufgeführt. Zwischen den untersuchten Mischungen wurden dabei verhältnismäßig geringe Unterschiede in der Substratzusammensetzung und Biogasausbeute gemessen. Die Silagen des frühen Schnittregimes unterschieden sich von den Silagen des späten Schnittregimes vor allem durch um 4 bis 8 % TM geringere Rohfasergehalte, um 2 bis 4 % TM höhere Rohproteingehalte (2006) und um 1 bis 2 % TM höhere Aschegehalte. Mit nur einer Ausnahme wurden bei den Silagen des frühen Schnittregimes höhere Biogasausbeuten erzielt als bei den Silagen des späten Schnittregimes. Der Unterschied war mit bis zu 17 % insbesondere beim 2. Aufwuchs gegeben. Dennoch konnten die höheren Biogasausbeuten bezogen auf die oTM der Silagen des frühen Schnittregimes die Ertragsvorteile des reduzierten Nutzungsregimes nicht kompensieren (FNR 2008).

Fazit: Bei dem frühen Schnittregime wurden höhere Biogasausbeuten bezogen auf die oTM, jedoch geringere Erträge im Vergleich zum späten Schnittregime erzielt (FNR 2008). Aufgrund höherer Methanflächenerträge ist daher das Nutzungsregime mit 3 bis 4 Schnitten dem Nutzungsregime mit 4 bis 5 Schnitten überlegen.

II.2.1.3 Einfluss von Silierzusätzen

Um den Anforderungen nach gesicherter Gärqualität und reduzierten Gärverlusten bei der Silierung von Ganzpflanzen gerecht zu werden, können Silierhilfsmittel dem zu konservierenden Material zugesetzt werden. Hierfür werden verschiedene Additive mit unterschiedlichen Wirkprinzipien und Wirkrichtungen angeboten (KALZENDORF 2006). Bisher ist jedoch nur wenig zum Einfluss der Silierzusätze auf das Biogasbildungspotenzial der Silagen bekannt.

Bei Mais, Grünschnittroggen, Sudangras und Wintertriticale wurden ausgewählte chemische und biologische Silierzusätze, wie in Tab. II.1.3-1 beschrieben, hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Gär säuremuster der Silagen, auf Gärverluste sowie auf die Biogasausbeute geprüft. Die Untersuchungen erfolgten bei Mais (theoretische Häcksellänge 4 mm) im Erntejahr 2005 und wurden im Erntejahr 2007 (theoretische Häcksellänge 8 mm) wiederholt. Ergebnisse zu Gär säuremuster und Gärqualität der Silagen sind in **Tab. II.2.1.3-1** aufgeführt. Daten zur chemischen Zusammensetzung der Silagen können der **Tab. A9** entnommen werden.

Die im Erntejahr 2005 konservierten Maissilagen ohne Silierzusatz wurden nach DLG-Schlüssel mit „verbesserungsbedürftig“ bewertet. Ursache für den Punktabzug nach DLG-Schlüssel war der Gehalt an Buttersäure von im Mittel 1,1 % TM. Durch Zusatz der Siliermittel wurde eine Verbesserung der Gärqualität auf „gut“ bis „sehr gut“ erreicht. Im Erntejahr 2007 wiesen alle Maissilagen keine bzw. nur sehr geringe Buttersäuregehalte bis maximal 0,2 % TM und „sehr gute“ Gärqualitäten auf.

Der Milchsäuregehalt wurde insbesondere durch Zusatz homofermentativer Milchsäurebakterien (Siliermittel biologisch B) erhöht. Im Erntejahr 2005 war dies mit einem niedrigeren pH-Wert und geringen Essigsäuregehalten in den Silagen verbunden. Der chemischen Zusatz A bewirkte ebenfalls leicht höhere Milchsäuregehalte verglichen mit der Kontrolle, jedoch auch höhere Essigsäuregehalte im Gär säuremuster. In den mit biologischem Zusatz A behandelten Maissilagen wurden erwartungsgemäß höhere Essigsäure- und Ethanolgehalte und geringere Gehalte an Milchsäure analysiert. Dies ist auf die Aktivität der heterofermentativen

Milchsäurebakterien des biologischen Siliermittels A zurückzuführen, die den in den Pflanzen noch enthaltenen Zucker sowie die gebildete Milchsäure zu Essigsäure und Alkoholen fermentieren können. Bei Zusatz des biologischen Siliermittels C wurden hingegen bei beiden Versuchsreihen nur geringe Gehalte an Essigsäure in den Silagen ermittelt. Da auch dieses Siliermittel eine Kombination aus homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien enthält, war hier ein höherer Essigsäuregehalt zu erwarten.

Tab. II.2.1.3-1: Gärsäuremuster und Gärqualität der Maissilagen mit unterschiedlichen Silierzusätzen, n = 3

Silierzusatz	pH-Wert	Milchsäure	Essigsäure ¹⁾	Buttersäure ²⁾	einwertige Alkohole ³⁾	DLG-Punkte	DLG-Note
		[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]		
Mais 2005							
ohne	3,6	2,7	1,1	1,1	1,3	67	3
chem. A	3,5	2,8	3,3	n.n.	1,2	93	1
biol. A	3,9	0,8	3,7	n.n.	1,3	80	2
biol. B	3,3	4,8	0,5	n.n.	1,1	100	1
biol. C	3,6	2,8	0,3	0,1	0,1	100	1
Mais 2007							
ohne	3,9	4,8	1,0	n.n.	1,0	100	1
chem. A	3,9	5,0	1,1	0,2	0,5	94	1
biol. A	4,2	2,7	2,4	0,1	1,7	95	1
biol. B	3,9	4,5	1,6	n.n.	1,3	100	1
biol. C	4,2	2,2	0,8	n.n.	1,8	100	1

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Die Analyse der Biogasbildung aus den unbehandelten und behandelten Silagen zeigt einen Einfluss des Silierzusatzes auf die Biogasausbeute (**Abb. II.2.1.3-1, Tab. A10**). In beiden Versuchsjahren wurden die höchsten Biogasausbeuten mit Zusatz des biologischen Siliermittels A mit homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien erzielt. Die gemessene Biogasausbeute lag dabei 2005 um 13 % und 2007 um 5 % über der Biogasausbeute der Kontrolle ohne Silierzusatz. Die zweithöchsten Biogasausbeuten wurden jeweils bei den Silagen mit biologischem Siliermittel C ermittelt, ebenfalls ein Präparat mit homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien. Die Biogasausbeute der entsprechend behandelten Varianten überstieg die Biogasausbeute der Kontrolle 2005 um 7 % und 2007 um 0,5 %. Mit dem chemischen Zusatz A wurden im Vergleich der behandelten Silagen jeweils die geringsten Biogasausbeuten erzielt. 2005 lagen diese um 5 % über und 2007 um 3,5 % unter der Biogasausbeute der Kontrolle.

Die Methangehalte im Biogas unterschieden sich nur geringfügig. 2005 wurden Methangehalte in den Silagen zwischen 53 und 54 Vol-% und 2007 zwischen 56 und 57 Vol-% gemessen (Tab. A10). Die Methangehalte der FM lagen generell um bis zu 2,6 Vol-% niedriger als die Methangehalte im Biogas der dazugehörigen Silagen.

Bei den TM-Verlusten durch Fermentationsprozesse war kein einheitlicher Trend im Vergleich der beiden Versuchsjahre zu beobachten. Während 2005 die höchsten TM-Verluste ohne Silierzusatz und mit chemischem Zusatz A auftraten, wurden 2007 bei diesen Varianten die geringsten TM-Verluste gemessen. Allgemein sind die Fermentationsprozesse bei der Buttersäuregärung sowie bei der heterofermentativen Milchsäuregärung mit deutlich höheren TM- und Energieverlusten verbunden als bei der homofermentativen Milchsäuregärung (MCDONALD ET AL. 1991). Dies erklärt die im Versuchsjahr 2007 analysierten hohen TM-Verluste mit steigenden Anteilen an Essigsäure und Ethanol im Gärsäuremuster der Silagen insbesondere bei Zusatz des biologischen Siliermittels A. Auf Grundlage des Gärsäuremus-

ters der mit dem biologischen Siliermittel A behandelten Silagen wären auch im Versuchsjahr 2005 höhere Gärverluste bei dieser Variante zu erwarten gewesen. Dies konnte jedoch weder bei den FM- noch bei den TM-Verlusten nachgewiesen werden. Ursache für das Fehlen dieses Zusammenhangs waren möglicherweise die großen Unterschiede im TM-Gehalt des Ausgangsmaterials, die im Versuchsjahr 2005 eine Spanne von 35,8 bis 39,1 % aufwiesen. Die Unterschiede im Ausgangsmaterial spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Biogasausbeute der FM wieder. Der Zusatz des Siliermittels erfolgt in sehr geringen Mengen, so dass aufgrund der Zugabe des Additivs zu dem Ausgangsmaterial nicht mit einer Erhöhung der Biogasausbeute zu rechnen ist. Dennoch wurden 2005 deutliche Unterschiede von bis zu 15 % in der Biogasausbeute der FM gemessen (Abb. II.2.1.3-1).

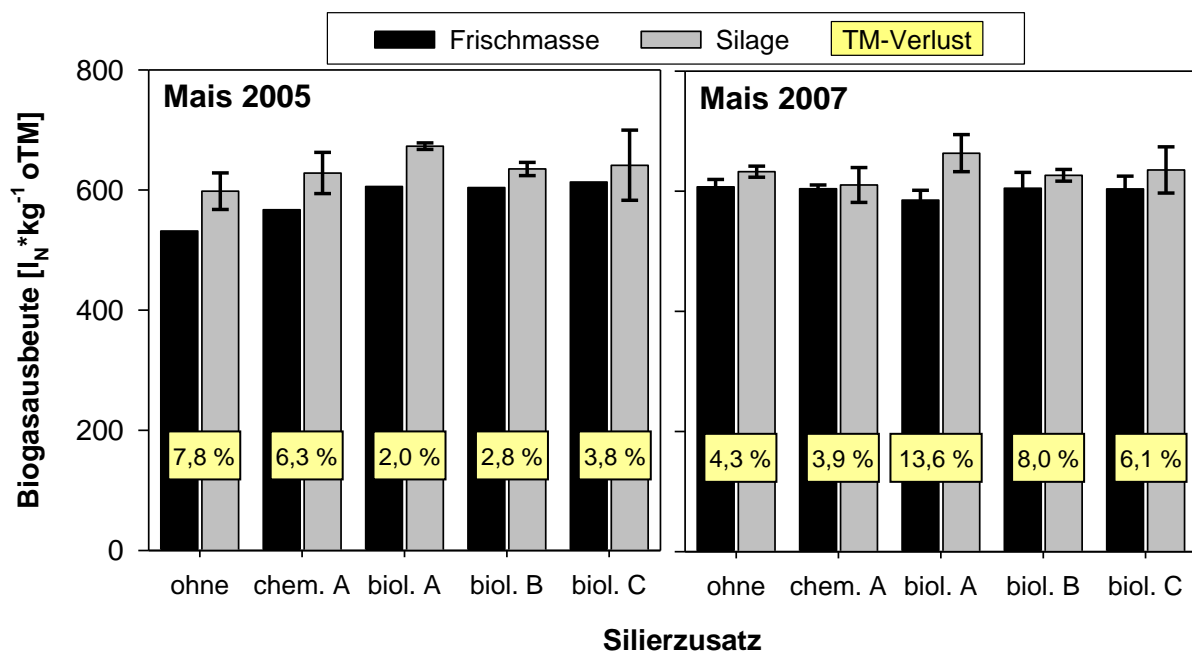


Abb. II.2.1.3-1: Biogasausbeuten und TM-Verluste von Mais der Erntejahre 2005 und 2007 mit unterschiedlichen Silierzusätzen; Frischmassen 2005 n = 1, sonst n = 3

Werden sowohl die TM-Verluste als auch die Biogasausbeuten in die Bewertung mit einbezogen, so ergibt sich im Versuchsjahr 2005 für Mais ein deutlich positiver Effekt bei Zusatz der biologischen Siliermittel A und C mit homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien. Aufgrund der Unterschiede im Ausgangsmaterial sind die Ergebnisse des Versuchsjahres 2005 für Mais jedoch kritisch zu betrachten. Im Versuchsjahr 2007 wurden höhere Biogasausbeuten im Batch-Gärttest durch höhere Gärverluste bei der Silierung kompensiert. Im Vergleich der Biogasmenge, die aus einer einheitlichen Masse an geerntetem Gut nach der Silierung gewonnen wurde, konnten keine eindeutigen Vorzugsvarianten ermittelt werden.

Die Wirkung eines chemischen Silierzusatzes („chemisch B“) sowie des Siliermittels „biologisch A“ im Vergleich zu einer Kontrolle ohne Silierzusatz wurde auch bei Grünschnittroggen (theoretische Häcksellänge 11 mm), Sudangras (theoretische Häcksellänge 4 mm) und Wintertriticale (theoretische Häcksellänge 8 mm) geprüft. Ergebnisse zu Gärqualität und Gär säuremuster der untersuchten Silagen sind in **Tab. II.2.1.3-2** aufgeführt.

Tab. II.2.1.3-2: Gär säuremuster und Gärqualität der Grünschnittrögen-, Sudangras- und Wintertriticalesilagen mit unterschiedlichen Silierzusätzen, n = 3

Silierzusatz	pH-Wert	Milchsäure [% TM]	Essigsäure ¹⁾ [% TM]	Buttersäure ²⁾ [% TM]	einwertige Alkohole ³⁾ [% TM]	DLG- Punkte	DLG- Note
Grünschnittrögen							
ohne	4,2	7,4	2,3	n.n.	0,5	95	1
chem. B	4,4	5,5	0,8	n.n.	0,2	88	2
biol. A	4,7	1,9	5,3	n.n.	1,9	52	3
Sudangras							
ohne	3,9	4,2	1,1	0,1	1,0	100	1
chem. B	4,2	3,5	1,1	0,1	0,7	97	1
biol. A	4,0	2,9	1,7	0,2	1,1	95	1
Wintertriticale							
ohne	4,0	5,3	0,7	n.n.	2,2	100	1
chem. B	4,6	3,2	0,6	n.n.	0,1	97	1
biol. A	4,0	3,9	3,1	n.n.	1,2	90	1

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Bei allen drei Pflanzenarten wurden ohne Silierzusatz Silagen mit sehr guter Gärqualität im Labormaßstab erzeugt. Buttersäure wurde nur in den Sudangrassilagen in geringen Konzentrationen bis maximal 0,2 % TM nachgewiesen, alle übrigen Silagen waren buttersäurefrei.

Der Zusatz des chemischen Siliermittels B bewirkte einen insgesamt geringeren Anteil an organischen Säuren und Alkoholen in den Silagen. Dabei wurden neben geringeren Essigsäuregehalten auch um 0,7 bis 2,2 % TM geringere Gehalte an Milchsäure analysiert. Entsprechend lagen die pH-Werte der Silagen mit chemischem Zusatz bei allen drei Pflanzenarten höher als bei der Kontrolle. Dies führte zum Teil zu Punktabzug bei der Bewertung der Gärqualität nach DLG-Schlüssel. Durch Zusatz des biologischen Siliermittels A wurde entsprechend des Produktdesigns vor allem die Bildung von Essigsäure gefördert. Hohe Essigsäuregehalte waren mit höheren Gehalten an Ethanol und geringeren Milchsäuregehalten in den Silagen verbunden und führten ebenfalls zu Punktabzug bei der Bewertung der Gärqualität.

Bei allen drei Pflanzenarten zeigte sich ein deutlicher Einfluss des Silierzusatzes auf die Gärverluste. Dabei wurden mit chemischem Zusatz B die geringsten TM-Verluste gemessen. Diese lagen um bis zu 5,8 % (absolut) unterhalb der TM-Verluste der Kontrolle (**Abb.II.2.1.3-2**). Mit biologischem Zusatz A entstanden durch Förderung der heterofermentativen Milchsäuregärung höhere TM-Verluste. Diese lagen um bis zu 3,6 % (absolut) über den TM-Verlusten der Kontrolle.

Bei Grünschnittrögen und Sudangras unterschieden sich die Biogasausbeuten der Siliermittelvarianten nur geringfügig (Tab. A10). Mit chemischem Zusatz B wurden bei Grünschnittrögen um 4 % niedrigere Biogasausbeuten gemessen als bei der Kontrolle, mit biologischem Zusatz A war kein Unterschied festzustellen. Bei Sudangras lag mit chemischem Zusatz B die Biogasausbeute auf gleicher Höhe wie die der Kontrolle, mit biologischem Zusatz A wurde eine um 2 % niedrigere Biogasausbeute analysiert. Allerdings war bei beiden Pflanzenarten der Zusatz des biologischen Siliermittels A mit um 2 Vol-% bzw. 0,8 Vol-% höheren Methangehalten verglichen mit der Kontrolle und folglich mit einer besseren Qualität des erzeugten Biogases verbunden. Bei Wintertriticale wurden etwas größere Unterschiede in der Biogasausbeute der Siliermittelvarianten gemessen. Mit chemischem Zusatz B wurde

eine um 5 % geringere Biogasausbeute und mit biologischem Zusatz A eine um 4 % höhere Biogasausbeute verglichen mit der Kontrolle ohne Silierzusatz ermittelt.

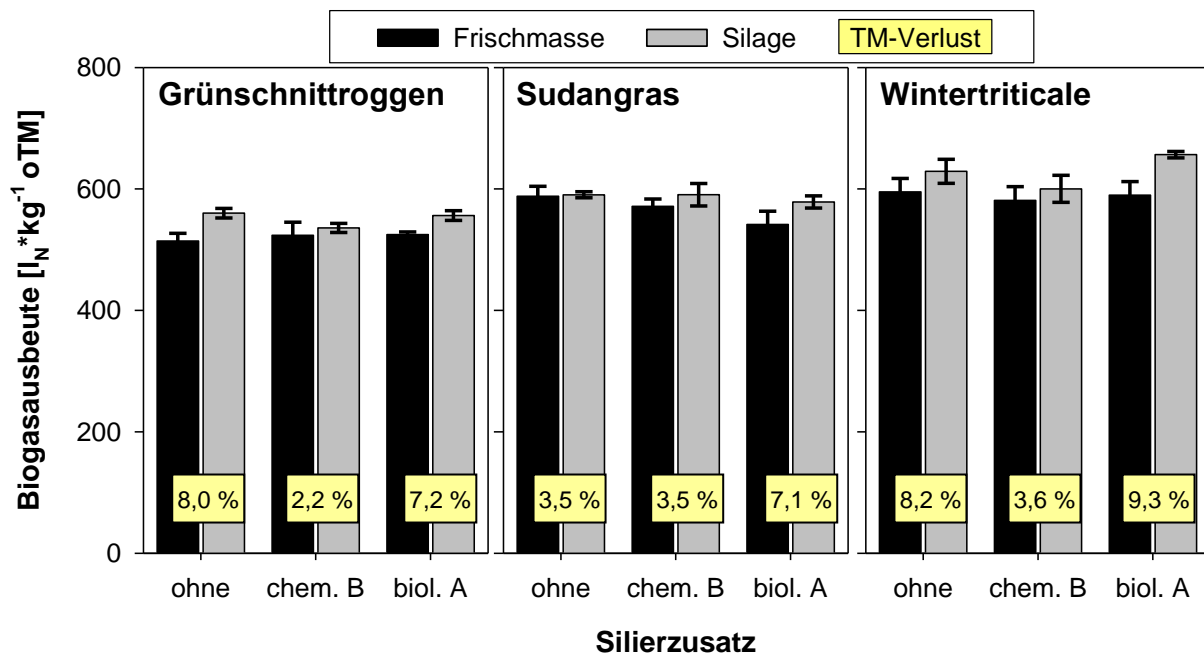


Abb. II.2.1.3-2: Biogasausbeuten und TM-Verluste von Grünschnittroggen, Sudangras und Wintertriticale mit unterschiedlichen Silierzusätzen; n = 3

Bei Bewertung von Biogasausbeuten und Gärverlusten ist festzustellen, dass die höheren Gärverluste der untersuchten Silagen insbesondere bei Zusatz von homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien häufig durch positive Effekte des Gär säuremusters auf die Biogasausbeute ausglich werden. Der Zusatz eines chemischen Siliermittels war vorwiegend mit etwas geringeren Biogasausbeuten, jedoch auch mit geringeren Gärverlusten verbunden. Entsprechend lassen sich auch bei Grünschnittroggen, Sudangras und Wintertriticale keine eindeutigen Vorzugsvarianten benennen.

Fazit: Die dargestellten Ergebnisse zeigen in erster Linie den Effekt eines durch Silierzusätze beeinflussten Gär säuremusters auf die Gärverluste und die Biogasausbeute. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden auch ohne Zusatz fast ausschließlich sehr gute Gärqualitäten erzielt. Allerdings wurde die aerobe Stabilität der Silagen nicht in die Bewertung mit einbezogen. Unter diesen Bedingungen wurde durch Silierzusätze keine deutliche Erhöhung der Biogasausbeute unter Berücksichtigung der Gärverluste erzielt. Werden jedoch mit Hilfe des Silierzusatzes Fehlgärungen oder hohe Verluste durch Nacherwärmung verhindert, ist von einem positiven Effekt des Einsatzes eines angepassten Siliermittels auszugehen. Hierbei kann einer deutlichen Abnahme der Biogasausbeute durch Masseverluste entgegenwirkt werden (BANEMANN ET AL. 2008, ZACHARIAS ET AL. 2008). Für detaillierte Aussagen sind jedoch auch hierzu weiterhin systematische Versuche erforderlich.

II.2.1.4 Einfluss der Silierdauer

Die Dauer der Lagerung einer Silage unter anaeroben Bedingungen hat Einfluss auf die für Fermentationsprozesse zur Verfügung stehende Zeit und damit auf die Menge an Gärpro-

dukten und die Höhe der Verluste. Der Silierprozess benötigt zunächst ausreichend Zeit, um die Hauptgärphase, die durch intensive Fermentationsvorgänge gekennzeichnet ist, abzuschließen und die Lagerphase einzuleiten. Dies geschieht üblicherweise innerhalb ca. einer Woche (PAHLOW 2006). Um eine stabile, „reife“ Silage zu erzeugen, wird jedoch eine Mindestsilierdauer von 4-6 Wochen empfohlen. In der sich anschließenden Lagerphase ist dann mit einem weiteren kontinuierlichen schwachen Substratabbau zu rechnen. Ist jedoch genügend Gärsubstrat vorhanden und wird ein Luftzutritt in die Silage zuverlässig verhindert, kann das Pflanzenmaterial unter diesen Bedingungen über einen langen Zeitraum gelagert werden. Untersuchungen an Maissilagen (theoretische Häcksellänge 8 mm), Grünschnittroggensilagen (theoretische Häcksellänge 11 mm), Sudangrassilagen (theoretische Häcksellänge 4 mm), und Wintertriticalesilagen (theoretische Häcksellänge 8 mm) mit Variation der Lagerdauer von zehn Tagen bis zu einem Jahr bestätigen dies. In **Tab. II.2.1.4-1** sind die Gärsäuremuster der Silagen sowie die Bewertungen der Gärqualität nach DLG-Schlüssel (2006) aufgeführt. Daten zur chemischen Zusammensetzung der Silagen können der **Tab. A11** des Anhangs entnommen werden.

Tab. II.2.1.4-1: Gärsäuremuster und Gärqualität der Mais-, Grünschnittroggen-, Sudangras- und Wintertriticalesilagen bei unterschiedlicher Silierdauer, n = 3

Lagerdauer	pH-Wert	Milchsäure	Essigsäure ¹⁾	Buttersäure ²⁾	einwertige Alkohole ³⁾	DLG-Punkte	DLG-Note
[d]		[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]		
Mais							
10	3,9	4,3	0,5	n.n.	1,2	100	1
90	3,9	4,8	1,0	n.n.	1,0	100	1
180	4,2	2,5	2,4	n.n.	1,2	100	1
365	4,2	2,3	3,9	n.n.	2,1	78	1
Grünschnittroggen							
10	4,0	7,0	1,5	n.n.	0,6	100	1
90	4,2	7,4	2,3	n.n.	0,5	95	1
180	4,5	3,2	4,6	n.n.	1,6	60	3
365	4,8	1,7	4,5	1,3	2,0	35	4
Sudangras							
10	3,8	5,2	1,6	0,2	1,6	97	1
90	3,9	4,2	1,1	0,1	1,0	100	1
180	3,9	4,5	1,6	n.n.	1,6	100	1
365	3,8	6,9	2,7	0,3	2,6	88	2
Wintertriticale							
10	3,9	5,1	1,2	n.n.	1,3	100	1
90	4,0	5,3	0,7	n.n.	2,2	100	1
180	3,9	5,6	1,2	n.n.	3,2	100	1
365	3,8	4,7	1,1	n.n.	2,9	100	1

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Mit Ausnahme des Grünschnittroggens wiesen alle untersuchten Silagen eine gute bis sehr gute Gärqualität auf. Buttersäure wurde in höheren Konzentrationen nur bei den Grünschnittroggensilagen nach einer Lagerdauer von einem Jahr nachgewiesen. Innerhalb der ersten 10 Tage wurden bei den vier Pflanzenarten 4,3 bis 7,0 % TM Milchsäure, 0,5 bis 1,6 % TM Essigsäure und 0,6 bis 1,6 % Alkohole gebildet. Bis zu einer Lagerdauer von 90 Tagen wurden anschließend nur geringe Änderungen im Gärsäuremuster festgestellt. Allgemein nahmen mit zunehmender Lagerdauer die Gehalte an Essigsäure und Ethanol leicht zu. Bei Mais und Grünschnittroggen war dies mit einer Abnahme der Milchsäuregehalte und

einem leichten Anstieg des pH-Wertes verbunden. Bei Sudangras wurde nach einer Lagerdauer von 365 Tagen eine Zunahme des Milchsäuregehaltes in den Silagen detektiert. Bei Grünschnittroggen nahm die Gärqualität der Silagen ab einer Silierdauer von 180 Tagen deutlich ab. Ursache hierfür könnte ein zu geringer Restgehalt an vergärbaren Substanzen in den Silagen gewesen sein. Nach einer Lagerdauer von 180 Tagen lag der in den Silagen analysierte Zuckergehalt bei nur noch 2,1 % TM, nach 365 Tagen bei 0,8 % TM.

Zum Einfluss der Silierdauer auf die Biogasbildung ist bisher nur wenig bekannt. Einzelne Untersuchungen ergaben eine deutliche Zunahme der Methanausbeute mit längerer Lagerdauer bei Mais (NEUREITER ET AL. 2005) und Zuckerrübe (LEHTOMÄKI 2006). Die eigenen Ergebnisse zeigen ebenfalls eine Zunahme der Biogasausbeute mit längerer Silierdauer bis 365 Tagen bei allen vier untersuchten Pflanzenarten (**Abb. II.2.1.4-1, Tab. A12**). Nur bei Grünschnittroggen wurde nach 365 Tagen eine etwas geringere Biogasausbeute als nach 180 Tagen analysiert. Insgesamt lagen die Biogasausbeuten nach einem Jahr Silierdauer um 4 bis 9 % höher verglichen mit den 10-Tages-Varianten.

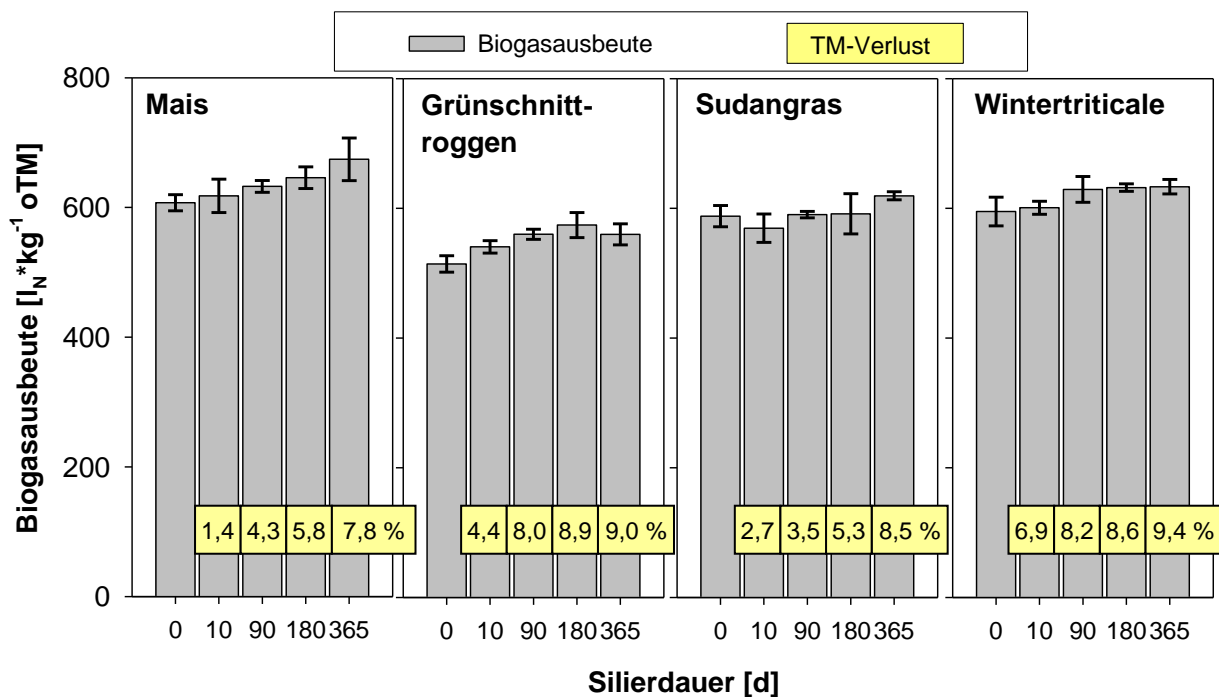


Abb. II.2.1.4-1: Biogasausbeuten und TM-Verluste von Mais, Grünschnittroggen, Sudangras und Wintertriticale bei unterschiedlicher Silierdauer; n = 3

Eine längere Silierdauer führte jedoch auch zu einem stärkeren Substratabbau und damit verbunden zu einer Zunahme der Gärverluste (Abb. II.2.1.4-1). Werden die Gärverluste bei der Silierung in die Bewertung der Biogasausbeute mit einbezogen, so gleichen sich höhere Biogasausbeuten mit höheren TM-Verlusten aus. Zwischen den Silagen mit unterschiedlicher Lagerdauer sind hinsichtlich der Biogasausbeute bezogen auf die vor der Silierung vorhandene oTM kaum Unterschiede vorhanden.

Fazit: Eine lange Lagerdauer unter strikt anaeroben Bedingungen von Silagen mit guter Gärqualität wirkt sich nicht negativ auf die Biogasausbeute aus, es ist jedoch bei Berücksichtigung der Gärverluste auch nicht mit einer deutlichen Zunahme der Biogasausbeute zu rechnen.

II.2.2 Ergebnisse aus Praxisbetrieben

II.2.2.1 Anbau und Bestandsführung

Witterungsbedingungen

Der Versuchsanbau erfolgte von April 2005 bis August 2008. Dabei zeigten sich insbesondere die Jahre 2006 und 2007 hinsichtlich der Witterung als extreme Jahre. Die in nahegelegenen Wetterstationen gemessenen Monatsmittel der Temperaturen und die monatlichen Niederschlagssummen sind für beide Betriebe in **Abb. II.2.2.1-1** und **Abb. II.2.2.1-2** dem langjährigen Mittel dieser Standorte gegenübergestellt.

Die Witterung gestaltete sich zu Beginn des Jahres 2005 zunächst an beiden Standorten verhältnismäßig mild, wobei die Temperaturen Ende Januar abfielen und im Februar und März deutlich unter dem langjährigen Mittel lagen. Die Monate März und April waren durch sehr trockene Witterung gekennzeichnet, wobei der April im Vergleich zum langjährigen Mittel an beiden Standorten etwas zu warm war. Im Mai setzte unbeständiges Wetter ein, gekennzeichnet durch sehr warme Perioden zu Beginn und zum Ende des Monats. Zudem waren die Monate Mai und Juli sehr niederschlagsreich, der Juni hingegen sehr trocken und in der ersten Hälfte deutlich zu kühl. Mit Beginn des August setzte eine kühle und insbesondere in Potsdam eine trockene Witterung ein. Die Monate September und Oktober waren durch herbstliche Schönwetterperioden mild und ebenfalls etwas zu trocken. Insgesamt wirkten sich der warme Mai sowie die relativ hohen Niederschläge in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode in 2005 positiv auf das Auflaufen und die Entwicklung des Mais aus.

Das Jahr 2006 begann sehr kalt mit andauernden unternormalen Lufttemperaturen bis Ende März. Dabei waren in den letzten Märztagen noch strenge Nachfröste zu verzeichnen. Erst ab der letzten Märzwoche konnten steigende Temperaturen gemessen werden, wodurch sich der Vegetationsbeginn auf Anfang April verzögerte. Die Wintermonate waren am Standort des Betrieb M durchgehend sehr niederschlagsarm, in der Region des Betrieb K wurden etwas reichlichere Niederschläge gemessen. Die extreme Trockenheit, die sich insbesondere am Standort des Betriebes M im Juni und Juli fortsetzte, wirkte sich sehr negativ auf die Entwicklung der Zweitfrucht (Sudangras) aus. Etwa eineinhalb Monate war hier fast kein Niederschlag zu verzeichnen. Beim Betrieb K beschränkten sich die Niederschläge im Juni und Juli auf wenige niederschlagsreiche Tage, im Übrigen fehlte auch hier der Regen. Erst ab der zweiten Augustdekade setzten Niederschläge deutlich über dem langjährigen Mittel ein. Die Trockenheit im Juni und Juli war verbunden mit hohen Temperaturen. Die Temperaturmaxima lagen durchgängig zwischen 25 und 35 °C und kühlten erst Mitte August ab. Der restliche Verlauf des Jahres gestaltete sich erneut niederschlagsarm mit milden Temperaturen im Herbst und überdurchschnittlich hohen Temperaturen im November und Dezember.

Das Jahr 2007 war gekennzeichnet durch einen warmen Jahresbeginn und durch hohe Niederschläge in den Sommermonaten. An beiden Versuchsstandorten lagen die Temperaturen von Januar bis Juni über dem langjährigen Mittel. Dies hatte einen zeitigen Vegetationsbeginn zur Folge. Die Niederschläge fielen von Januar bis März vorwiegend als Regen und waren ebenfalls überdurchschnittlich hoch. Den niederschlagsreichen Tagen zu Beginn des Jahres folgte ab der letzten Märzwoche bis Anfang Mai eine extrem trockene Periode, in der nahezu kein Niederschlag fiel. Dies bewirkte bei dem im April gelegten Mais in Betrieb K ein verzögertes und ungleichmäßiges Auflaufen der Pflanzen. Im Anschluss der ersten Maiwoche gestaltete sich die Witterung erneut überdurchschnittlich niederschlagsreich, wobei die

Summen der Monatsniederschläge bis zum Monat September deutlich über dem langjährigen Mittel lagen. Vor allem am Standort des Betriebes K fielen im Mai und Juni extreme Niederschläge in fast dreifacher Höhe des langjährigen Mittels. Mit Ausnahme des etwas trockeneren Monats Oktober waren auch zum Ende des Jahres leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmengen zu verzeichnen. Die Temperaturen lagen nach der deutlich zu warmen ersten Hälfte des Jahres 2007 im Juli und August nahe dem langjährigen Mittel und im September und Oktober leicht unter den Mittelwerten. Das Jahr endete mit milden Durchschnittstemperaturen im Dezember.

Im Jahr 2008 folgte den niederschlagsreichen Monaten Januar, März und April ein sehr trockener Mai, in dem nahezu kein Niederschlag fiel. Auch in den Folgemonaten bis September wurden an beiden Standorten Niederschläge unterhalb des langjährigen Mittels gemessen. Die Temperaturen lagen zum Jahresbeginn sowie in den Monaten Mai und Juni überdurchschnittlich hoch. In den übrigen Monaten wurden Temperaturen nahe des langjährigen Mittels beobachtet. Nach feuchten Aussaatbedingungen im Herbst 2007 herrschten mit ausreichender Wasserversorgung und einem milden Winter 2007/2008 günstige Entwicklungsbedingungen für den Roggen, die jedoch von der Trockenheit im Mai und Juni unterbrochen wurden.

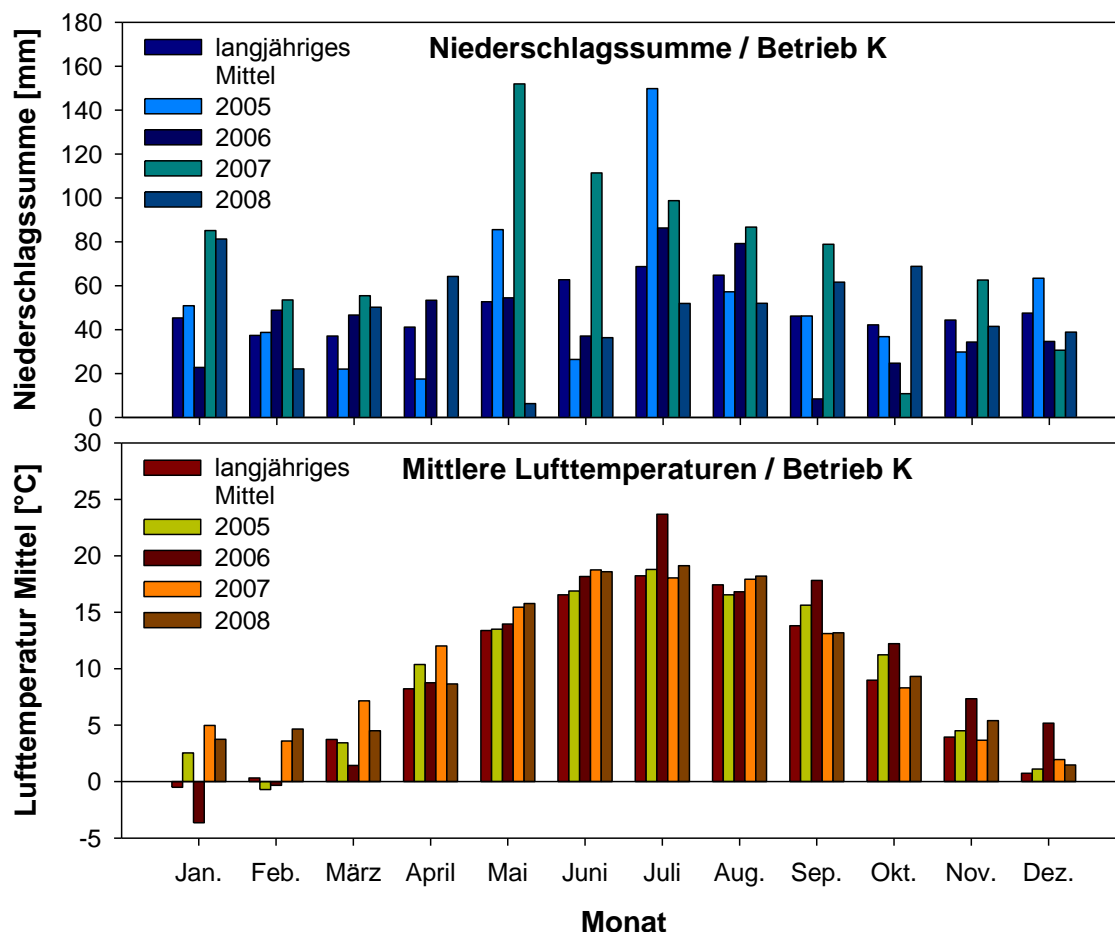


Abb. II.2.2.1-1: Niederschlagssummen und Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen am Standort des Betriebes K

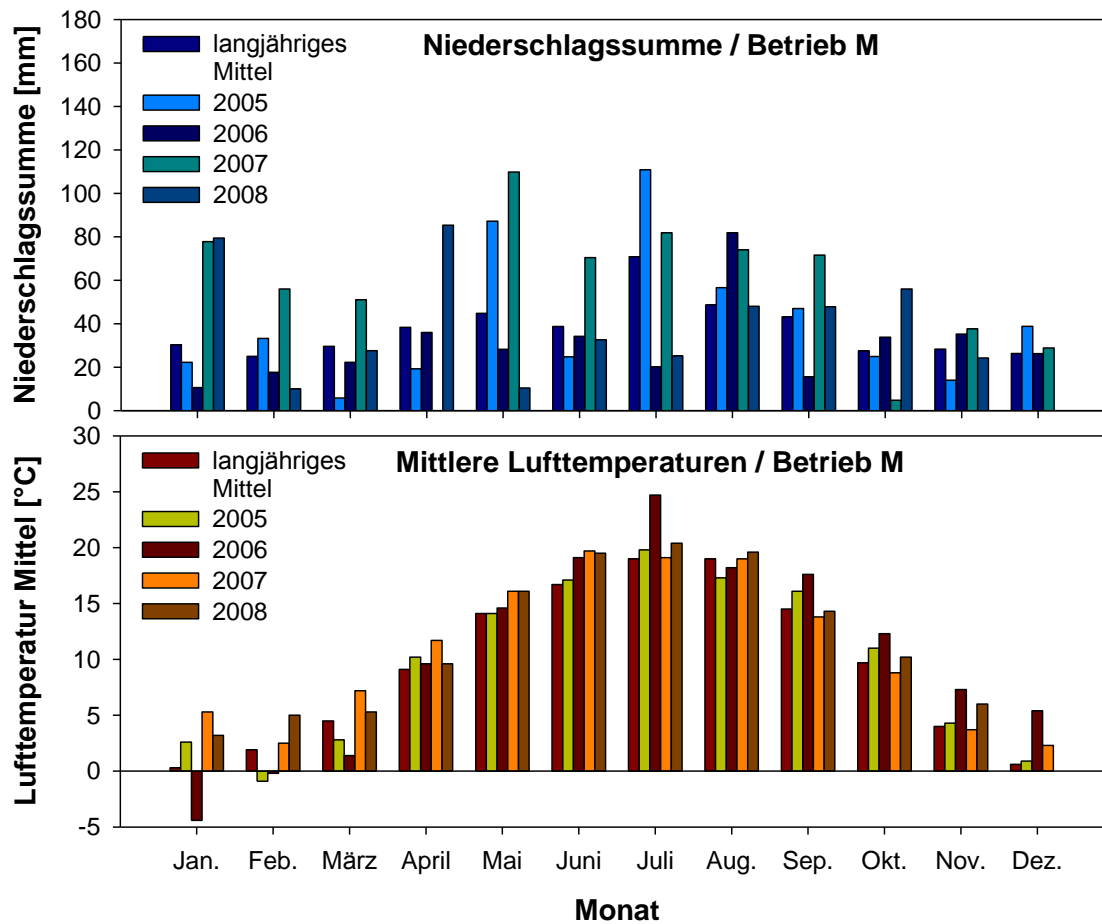


Abb. II.2.2.1-2: Niederschlagssummen und Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen am Standort des Betriebes M

Bestandesführung

In den Tab. II.2.2.1-1 und II.2.2.1-2 sind die Maßnahmen zu Bodenbearbeitung, Aussaat und Bestandesführung sowie die Termine der Maßnahmen und die Aufwandmengen zusammengestellt, unter denen der Versuchsanbau in den Jahren 2005 bis 2008 in Betrieb K und Betrieb M erfolgte.

Tab. II.2.2.1-1: Anbaubedingungen / Betrieb K

Parameter	Mais (2005)	Grünschnitt-roggen	Sudangras	Wintertriticale	perennierender Roggen	Mais (2007)	Winterroggen (Kornnutzung)
Bodenbearbeitung	Winterfurche (15.10.04) Grubbern (21.-22.04.05)	Pflügen mit Packer (08.10.05) Grubbern Vorge- wende (08.10.05)	Scheiben (18.05.06) Pflügen mit Packer (22.05.06) Saatbettbereitung (22.05.06)	Pflügen mit Packer (15.10.06) Grubbern Vorge- wende (15.10.06)	Pflügen mit Packer (08.10.05) Grubbern Vorge- wende (08.10.05)	Pflügen (25.04.07)	Pflügen (01.10.07)
Aussaat	28.04.05	12.10.05	23.05.06	17.10.06	12.10.05	28.04.07	03.10.07
Saatstärke	8 Körner/m ²	120 kg/ha	25 kg/ha	120 kg/ha	120 kg/ha	8 keimf.Körner/m ²	120 kg/ha
Reihenabstand	75 cm	12 cm	12 cm	keine Angabe	12 cm	75 cm	keine Angabe
Sorte	Flavi (S 250)	Recrut	Susu	Talentro	Permontra	Nesico	Carotop
Düngung	150 dt/ha Rindermist (Herbst 2004) 100 kg/ha Diamonphosphat (Unterfußdüngung; 28.04.05)	200 kg/ha Harnstoff (27.02.06)	20 m ³ /ha Rinder- gülle (17.05.06) 10 t/ha Rindermist (18.05.06)	20 m ³ /ha Rinder- gülle (14.10.06) 300 kg/ha KAS (13.03.07)	200 kg/ha Harnstoff (27.02.06)	20 m ³ /ha Rinder- gülle (24.04.07) 50 t/ha Rindermist (24.04.06)	300 kg/ha KAS (06.03.08) 120 kg/ha KAS (22.03.08) 10 m ³ /ha Rinder- gülle (25.09.07 bzw. 01.10.07)
Pflanzenschutz	2 l/ha Gardo gold + 0,5 l/ha Callisto + 20 g/ha Cato (28.05.05)	-	3 l/ha Artett (25.06.06)	-	-	2,5 l/ha Gardo Gold + 1 l/ha Cellisto + 0,1 l/ha Certrol B (23.06.07)	1 l/ha Fenikan + 1 l/ha IPU (14.10.07) 0,3 l/ha Amistar + 1 l/ha Folicur
Ernte	30.09.05	15.05./16.05.06	09.10./10.10.06	21.06.07	15.05./16.05.06	14.09.07	Dreschen (06.08.08) Strohpressen (07.08.08)

Tab. II.2.2.1-2: Anbaubedingungen / Betrieb M

Parameter	Mais	Grünschnitt-roggen	Sudangras	Wintertriticale	perennierender Roggen	Winterroggen (GPS)	Winterroggen (Kornnutzung)
Bodenbearbeitung	Grubbern (14.04.05) Striegeln (04.05.05)	Scheiben (22.09.05) Grubbern (23.09.05)	Scheiben (03.06.06)	Grubbern/Walzen (12.10.06) Striegeln (15.10.06)	Scheiben (Anfang 08.05) Grubbern (08.09.05)	Grubbern/Walzen (05.09.06)	Scheiben (k.A.) Grubbern (k.A.)
Aussaat	29.04.05	24.09.05	04.06.06	13.10.06	12.09.05 Nachsaat: 03.10.05	15.09.06	14.09.07
Saatstärke	8 Körner/m ²	90 kg/ha	25 kg/ha	140 kg/ha	120 kg/ha Nachsaat: 70 kg/ha	80 kg/ha	60 kg/ha
Reihenabstand	75 cm	12,5 cm	25 cm	25 cm	12,5 cm	25 cm	k.A.
Sorte	Gavott (S 250)	Vitalis	Susu	Grenado	Waldi / Permontra	Rekrut	Visello
Düngung	20 m ³ /ha Gärrest (14.04.05) 20 m ³ /ha Gärrest (04.05.05) 1,8 kg Zink, 5 kg Bittersalz, 8 l Spurenelemente (15.06.05) 1,8 kg Zink, 5 kg Bittersalz, 8 l Spurenelemente (20.06.05)	12 m ³ /ha Gärrest (22.09.05) 200 l/ha AHL (03.04.06) 150 l/ha AHL (28.04.06)	20 m ³ /ha Gärrest (03.06.06)	12 m ³ /ha Gärrest (11.10.06) 150 l/ha AHL (08.03.07) 160 l/ha AHL (11.04.07)	15 m ³ /ha Gärrest (25.11.05) 200 l/ha AHL (12.04.06) 150 l/ha AHL (27.04.06)	150 l/ha AHL (08.03.07) 20 m ³ /ha Gärrest (13.03.07) 90 l/ha AHL (12.04.07)	250 kg/ha Piamon 33-S (03.04.08) 235 kg/ha Piasan 24-S (30.04.08)
Pflanzenschutz	mechanische Unkrautbekämpfung/Rollhacke (04.05.05) 0,7 l/ha Bucril (18.06.05) 0,7 l/ha Bucril (25.06.2005)	1,7 l/ha IPU (03.04.06)	-	50 g/ha Concert (08.03.07)	-	50 g/ha Concert (08.03.07)	2 l/ha Stomp + 2 l/ha IPU (Mitte 10.07) 0,6 l/ha CCC + 0,6 l/ha Kupfer Questuran (23.04.08) 0,76 l/ha Starane XL + 0,3 l/ha Moddus (02.05.08) 0,8 l/ha Priori Xtra + 0,3 l/ha Camposan Extra + 1,5 kg/ha Bittersalz (08.05.08)
Ernte	21.09.05	30.05./01.06.06	27.09./28.09.06	18.-19.06.07	02.06./03.06.06	14.-15.06.07	13.08.08

k.A. keine Angabe

Bestandsentwicklung und Erträge

Die Entwicklung der Bestände der untersuchten Fruchtarten auf den Praxisflächen ist im Folgenden für Betrieb K und Betrieb M zusammenfassend beschrieben. Einzelne Ergebnisse zu den Bonituren und Messungen in den Beständen sind für Betrieb K in **Tab. A13** und für Betrieb M in **Tab. A14** aufgeführt.

Betrieb K

Der in Betrieb K Ende April 2005 gelegte Mais entwickelte sich bei warmer und niederschlagsreicher Witterung rasch und gleichmäßig. Die günstigen Witterungsbedingungen hatten eine hohe Bodenbedeckung und Bestandeshöhen von über 250 cm zur Folge. Die Ernte des Maises erfolgte Ende September 2005 mit gutem Ertrag (**Abb. II.2.2.1-3**). Zur Ernte waren bereits die Vollreife der Maiskörner und ein relativ hoher TM-Gehalt von 37 % erreicht.

Der Grünschnittroggen und der perennierende Roggen konnten sich nach Aussaat auf den Versuchsfeldern des Betriebes K am 12.10.05 mit einer Bestandesdichte von durchschnittlich 106 bis 130 Pflanzen/m² etablieren. Vor Vegetationsruhe wurde das Ein- bis Zweiblattstadium erreicht. Der späte Vegetationsbeginn im Frühjahr 2006 (Anfang April) bedingte eine zeitliche Verschiebung der Entwicklung, welche dann rasch erfolgte. Durch die lang anhaltende kühle Witterung blieb jedoch die erwartete Wirkung des Harnstoff-Düngers aus. Die Ernte des Grünschnittroggens sowie der erste Schnitt des perennierenden Roggens erfolgten mit geringen Erträgen im BBCH 31-32. Die Bodenbedeckung durch die Pflanzen lag zur Ernte bei nur ca. 40 %. Das Häckseln des Roggens erfolgte nach Anwelken des Erntegutes über eine Dauer von 13 Stunden auf dem Feld.

Nach dem ersten Schnitt des perennierenden Roggens setzte eine lange Trockenperiode mit hohen Temperaturen ein. Ein erneutes Austreiben des perennierenden Roggens erfolgte sehr schnell, es entwickelten sich jedoch nur wenige neue Triebe. In den durchschnittlich 120 Halmen/m² fand nach der Blüte Mitte Juni durch die ungünstige Witterung zu einem großen Teil keine Kornfüllung statt. Zudem war ein starker Mutterkornbesatz zu verzeichnen. Der geringe Biomasseaufwuchs war für einen zweiten Schnitt nicht geeignet. Nach dem Mulchen am 07.09.2006 setzte erneut die Triebbildung des perennierenden Roggens ein. Zu Vegetationsbeginn 2007 wurden im Mittel lediglich 67 neue triebbildende Pflanzen/m² gezählt, wobei dies über die Versuchsfeldern sehr stark variierte. Je Pflanze wurden dabei 3 bis 7 Triebe gebildet. Aufgrund der geringen Perennierfähigkeit des Roggens erfolgte im April der Umbruch der Fläche bis auf einen 2 m breiten Streifen, an dem die weitere Entwicklung der Pflanzen beobachtet wurde. Hier wurden im Mai 62 ährentragende Halme/m² gezählt. Problematisch war generell der hohe Unkrautanteil, der im Mai zu 90 % den Boden bedeckte.

Das Auflaufen und die Jugendentwicklung des Sudangrases als Zweitfrucht nach Grünschnittroggen erfolgten durch das fehlende Wasser im Mai und Juni 2006 sehr verzögert. Erst nach Einsetzen der Niederschläge im August konnte ein deutliches Pflanzenwachstum beobachtet werden, wobei starke Unterschiede in der Entwicklung bestehen blieben. Anfang September wurde ein sehr ungleichmäßiger Bestand bonitiert, wobei sich auf Teilen der Praxisfläche die Sudangraspflanzen im Schossen befanden, während auf anderen Teilstücken bereits die Blüte beendet war. Die Ernte im Entwicklungsstadium Blüte bis Kornfüllung erfolgte durch Schwaden, Anwelken des Gutes und Bergung nach 12 Stunden mit einem Ertrag von 60 dt Trockenmasse pro Hektar (**Abb. II.2.2.1-3**).

Die Saat der Wintertriticale in der Fruchtfolge nach Sudangras lief im Betrieb K gleichmäßig auf und entwickelte sich bis zur Vegetationsruhe zum Einblattstadium. Im Mittel wurde eine

Keimpflanzendichte von 133 Pflanzen/m² erreicht. Die feucht-warme Witterung zu Beginn und im weiteren Verlauf des Jahres 2007 ermöglichte eine gute Etablierung des Bestandes. Die Ernte der Triticale erfolgte am 21.06.07 im Stadium „Ende Milchreife“ bei einer dennoch relativ geringen Bestandesdichte von 245 ährentragenden Halmen/m². Die mittlere Bestandeshöhe betrug 73 cm bei einer Bodenbedeckung von bis 57 % und einem Unkrautanteil von 26 %.

Nach Umbruch des perennierenden Roggens in Betrieb K wurde auf der Versuchsfläche Mais gelegt. Dies erfolgte am 28. April bei extrem trockenen Bedingungen. In Folge des Wassermangels kam es zu einem nur zögerlichen und ungleichmäßigen Auflaufen der Maispflanzen Mitte Mai. Nach Einsetzen der Niederschläge konnten sich jedoch die angestrebten 8 Pflanzen/m² etablieren. Dem zögerlichen Auflaufen folgten ein schnelles Wachstum und eine rasche Jugendentwicklung. Ab der 3. Julidekade war die Blüte der Maispflanzen beendet und der Beginn der Kornfüllungsphase erreicht. Die Ernte erfolgte nach Problemen mit der Befahrbarkeit der Versuchsfläche aufgrund anhaltender Niederschläge am 14.09.07. Die Pflanzen wiesen eine Höhe von 235 cm auf und befanden sich bereits im Entwicklungsstadium „Ende Teigreife/Vollreife“. Dennoch lag der Trockenmassegehalt mit 33 % im für die Silierung optimalen Bereich.

Auf beiden Versuchsflächen des Betriebes K wurde im Oktober 2007 die synthetische Roggensorte Carotop mit dem Ziel der Kornnutzung gesät. Anhaltende Niederschläge und milde Temperaturen bewirkten zunächst eine rasche Entwicklung des Roggens. Die trockenen Bedingungen im Mai und Juni 2008 wirkten sich jedoch negativ auf die Ertragsbildung aus. Zur Ernte wurden 250 bis 300 Ähren/m² gezählt. Das TKG lag mit 31,8 g (Fläche Fruchtfolge) bzw. 26,5 g (Fläche perennierender Roggen) ebenso wie der Kornertrag mit 42 bis 46 dt/ha im unteren bis mittleren Bereich. Der TM-Gehalt im Korn betrug bei Ernte zur Vollreife 88 %.

Betrieb M

Ähnlich wie in Betrieb K profitierte auch in Betrieb M der Ende April 2005 gelegte Mais von günstigen Witterungsbedingungen. Dennoch wurden hier etwas geringere Bedeckungsgrade und Bestandeshöhen sowie etwas höhere Unkrautanteile als in Betrieb K ermittelt (Tab. A14). Zur Ernte befand sich der Mais im Entwicklungsstadium „Teigreife“ und wies einen TM-Gehalt von 31 % in der Ganzpflanze auf. Der Ertrag lag ebenfalls im für diesen Standort guten Bereich (Abb. II.2.2.1-3).

Der Grünschnittroggen als Nachfrucht nach Mais lief im Betrieb M gleichmäßig auf und entwickelte sich bis zur Vegetationsruhe zum Zweiblattstadium. Bei dem perennierenden Roggen war die Keimfähigkeit gering und machte eine Nachsaat notwendig. Der perennierende Roggen bestockte bereits im Herbst sehr stark und ging mit 6 bis 8 Trieben/Pflanze in die Vegetationsruhe. Im Frühjahr konnte auch der Grünschnittroggen durch gute Bestockung hohe Bestandesdichten bilden. Ende Mai wurden 430 ährentragende Halme/m² gezählt. Entgegen der eigentlichen Planung erfolgte die Ernte des Grünschnittroggens und perennierenden Roggens aus innerbetrieblichen Gründen des Praxisbetriebes erst Anfang Juni bei einem Trockenmassegehalt von 23 bis 25 %. Das Erntegut wurde ohne Anwelken einsiliert.

Im Anschluss an den ersten Schnitt des perennierenden Roggens setzte die trockene Witterung ein. Der perennierende Roggen bildete nach dem ersten Schnitt kaum neue Triebe. Im Juli wurden durchschnittlich 33 ährentragende Halme/m² gezählt, wobei ebenfalls keine Kornfüllung stattgefunden hatte und die Halme vollständig vertrocknet waren. Der perennierende Roggen wurde im September umgebrochen.

Das Auflaufen und die Bestandsbildung des Sudangrases wurden durch das fehlende Wasser im Juni 2006 nach der Aussaat stark negativ beeinflusst. Es konnten sich etwa 3 Pflanzen/laufendem Meter entwickeln, wobei größere Teilflächen ohne Aufwuchs blieben. Anfang September befanden sich die Sudangraspflanzen noch im Stadium des Schossens. Die geringe Bodenbedeckung bedingte einen hohen Unkrautdruck, wobei durch die ungünstige Witterung die beantragte Sondergenehmigung für die Anwendung des Herbizides Artett nicht genutzt werden konnte. Zur Ernte betrug die Bodenbedeckung durch das Unkraut [dominierende Art: Gemeine Melde (*Atriplex patula*)] 70 %, durch die Kulturpflanzen nur etwa 5 %. Die Ernte erfolgte mit Häcksler und GPS-Schneidwerk ohne Anwelken des Erntegutes.

Nach Aussaat der Wintertriticale am 13.10.2006 in Betrieb M wurde ein gleichmäßiges Auflaufen der Keimpflanzen beobachtet. Es konnten sich 135 Keimpflanzen/m² etablieren, die zur Vegetationsruhe das 2-Blatt-Stadium erreichten. Bei warmer und niederschlagsreicher Witterung zu Beginn 2007 setzte sich die Entwicklung der Pflanzen rasch fort. Anfang April wurden im Mittel 4 Triebe pro Pflanze gezählt. Die Ernte erfolgte am 18. und 19. Juni im Entwicklungsstadium „Mitte Teigreife“ der Pflanzen bei einer Bestandesdichte von 345 ährentragenden Halmen/m². Diese lag ebenso wie die Bestandeshöhe von 94 cm deutlich über den entsprechenden Werten des Triticalebestandes im Betrieb K und führte zu einem um 60 dt/ha höheren Flächenertrag.

Der Winterroggen, der in Betrieb M ersatzweise auf der Versuchsfläche des perennierenden Roggens zum Anbau kam, konnte sich nach früherer Aussaat Anfang September 2006 mit einer Keimpflanzendichte von 147 Pflanzen/m² ebenso wie die Triticale im Betrieb M gut etablieren. Bis zur Vegetationsruhe wurden 1 bis 4 Triebe gebildet. Im Frühjahr setzte sich die Triebbildung fort, wobei Anfang April im Mittel 6 Triebe pro Pflanze bonitiert wurden. Die Bodenbedeckung lag zu diesem Zeitpunkt bereits bei 50 %. Die Ernte eines sehr gleichmäßigen Bestandes mit minimalem Unkrautbesatz wurde am 14. und 15. Juni im Entwicklungsstadium „Mitte Teigreife“ der Pflanzen durchgeführt. Mit einer Bestandesdichte von 338 Ährentragenden Halmen/m² und einer Bestandeshöhe von 151 cm konnte ein Flächenertrag von 255 dt/ha erzielt werden.

Die Entwicklung des Winterroggens nach Wintertriticale auf der Versuchsfläche der Fruchtfolge Nr. 3 verlief in Betrieb M sehr ähnlich wie in Betrieb K. Bei den Bonituren wurden nahezu gleiche Werte ermittelt (Tab. A14). Die Kornernte erfolgte bei einem etwas geringeren TM-Gehalt von 84 % im Korn mit einem Ertrag von 42 dt/ha. Das TKG lag mit 33,2 g etwas höher als in Betrieb K.

In Abb. II.2.2.1-3 sind zusammenfassend die TM-Erträge der beiden Praxisbetriebe auf den Versuchsflächen dargestellt.

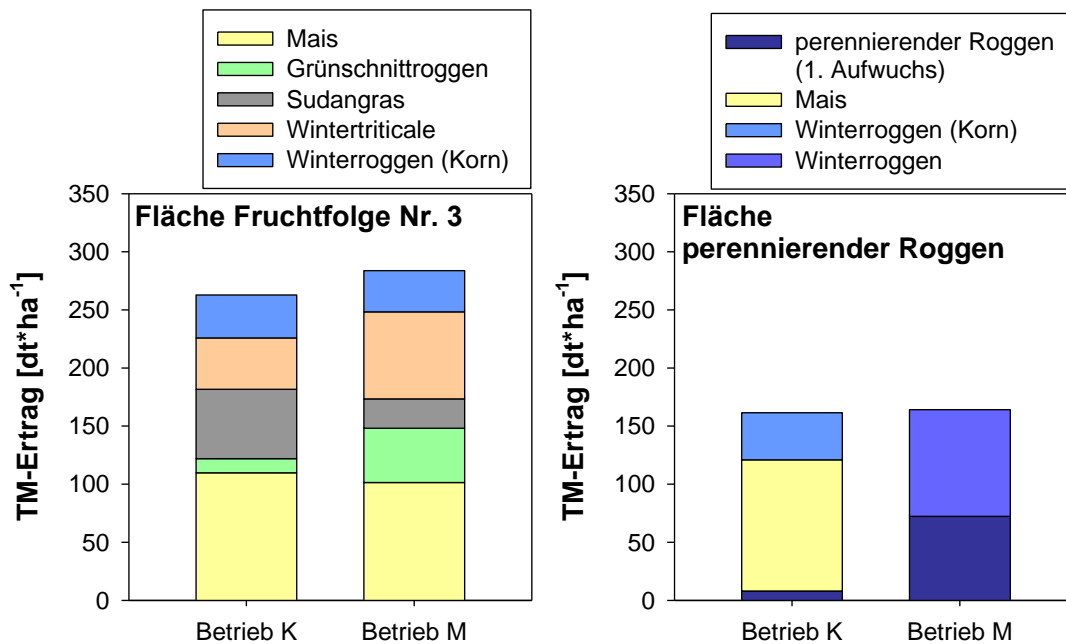


Abb. II.2.2.1-3: Trockenmasseerträge auf den Praxisflächen der Betriebe K und M

Fazit: Bei Anbau der Fruchtfolge Nr. 3 aus dem Verbundprojekt konnte im Praxismaßstab in den Jahren 2005 bis 2007 an ertragsschwachen Standorten Biomasseerträge von 226 bzw. 248 dt TM/ha (ohne Roggenkorn 2008) erzielt werden. Damit lag der Ertrag um 25 bzw. 17 % unter dem in Parzellenversuchen am vergleichbaren Standort Güterfelde erreichten Ertrag. In dem sehr trockenen Jahr 2006 war die Etablierung einer Zwischenfrucht gefolgt von einer Zweitfrucht durch die fehlende Wasserversorgung schwierig. Die höchsten Biomasseerträge wurden von Mais sowie von Winterroggen-GPS bzw. Wintertriticale-GPS erreicht. Der Anbau des perennierenden Roggens hat sich unter den gegebenen Witterungsbedingungen im Praxismaßstab nicht bewährt.

II.2.2.2 Silierversuche

Vergärbarkeit des Erntegutes

Die im Betrieb K geernteten FM wiesen mit Ausnahme des Grünschnittroggens einen hohen VK und damit eine gute Silierbarkeit auf Grundlage der chemischen Zusammensetzung auf (**Tab. II.2.2.2-1**). Bei Grünschnittroggen wurden relativ hohe Zuckergehalte, jedoch auch eine hohe Pufferkapazität analysiert. Entsprechend wurde das Erntegut als schwer silierbar eingestuft. Im Betrieb M wurden Mais und die FM der Wintergetreidearten als mittelschwer bis leicht silierbar bewertet. Der Grünschnittroggen und der perennierende Roggen wiesen vergleichsweise geringe TM-Gehalte und hohe Pufferkapazitäten und damit eine deutlich schlechtere Vergärbarkeit auf. Bei Sudangras wurde ein sehr niedriger Zuckergehalt gemessen, der sicherlich auf den hohen Unkrautanteil im Erntegut zurückzuführen ist. Durch den relativ geringen TM-Gehalt und zusätzlich einem hohen Anteil an puffernden Substanzen war das Sudangras in Betrieb M schwer silierbar.

Tab. II.2.2.2-1: Vergärbarkeit des Erntegutes der Praxisversuche

Pflanzenart	TM [% FM]	Zucker [% TM]	Rohprotein [% TM]	VK	Vergärbarkeit
Betrieb K					
Mais (2005)	36,7	7,9	6,4	56	mittelschwer bis leicht silierbar
Grünschnittroggen	25,8	10,3	10,6	34	schwer silierbar
Sudangras	30,8	16,0	5,6	47	mittelschwer bis leicht silierbar
Wintertriticale	30,9	6,4	9,5	41	mittelschwer bis leicht silierbar
Mais (2007)	32,4	12,8	6,9	50	mittelschwer bis leicht silierbar
Betrieb M					
Mais	29,2	12,4	6,8	47	mittelschwer bis leicht silierbar
Grünschnittroggen	24,1	7,7	10,1	30	schwer silierbar
Sudangras	23,7	2,7	10,5	26	schwer silierbar
Wintertriticale	38,6	6,1	6,9	48	mittelschwer bis leicht silierbar
perenn. Roggen	21,9	7,4	13,2	27	schwer silierbar
Winterroggen	35,9	6,2	9,4	44	mittelschwer bis leicht silierbar

Beschreibung der Silos sowie des Silagemanagements

Die Ernte, Einlagerung des Erntegutes in die Silos sowie das Verschließen bzw. Abdecken der Silos erfolgte in Betrieb K grundsätzlich innerhalb eines Tages, in Betrieb M innerhalb von ein bis maximal zwei Tagen. In den Tab. II.2.2.2-2 und II.2.2.2-3 sind die Versuchssilos der beiden Praxisbetriebe übersichtsartig beschrieben.

Lagerdauer und Entnahmezeitraum der Silagen waren von der Substratzugabe in die Praxisbiogasanlagen abhängig. Voraussetzung für den Versuchsbeginn sollte ein stabiler Betrieb der Biogasanlagen sein. Da bei beiden Anlagen im Vorfeld Umbauarbeiten erfolgten und die Zugabemengen in den Anlagen neu eingestellt wurden, kam es zu Verzögerungen des Versuchsbeginns. Entsprechend variierte die Lagerdauer der Silagen sehr stark und war mit bis zu 441 Tagen in Betrieb K und bis zu 546 Tagen in Betrieb M zum Teil sehr lang. Der Winterroggen in Betrieb M wurde hingegen mit einer Silierdauer von nur 16 Tagen deutlich kürzer als die allgemein empfohlenen 4 bis 6 Wochen (PAHLOW 2006) siliert. Das Praxissilo mit perennierendem Roggen wurde in Betrieb M nach 192 Tagen geöffnet, aufgrund einer in dem Fermenter der Biogasanlage aufgetretenen Ammonium-Hemmung jedoch nach elftägiger Entnahmezeit wieder verschlossen und erst nach 366 Tagen endgültig geleert.

Im Betrieb K riss aus bisher nicht geklärten Gründen das Schlauchsilo mit Mais (Maisernte 2005) Mitte Juli 2006 komplett auf. Bereits wenige Tage zuvor war ein anderes Schlauchsilo in dem Betrieb gerissen. Ursache hierfür könnten die hohen Temperaturen im Sommer 2006, Schäden durch Vögel oder fehlerhaftes Material des Schlauches gewesen sein. Die verdichtete Silage fiel seitlich leicht auseinander. Das Silo wurde sofort mit Silofolie abgedeckt und luftdicht verschlossen (**Abb. II.2.2.2-1**). Dennoch war bei Siloöffnung im Oktober 2006 insbesondere in den lockeren Randbereichen Schimmelbildung infolge des Sauerstoffeintrages beim Reißen des Silos sichtbar. Die Silageproben wiesen zum Teil eine stark veränderte Färbung und Röstgeruch auf. Nesterartige Schimmelbildung wurde ebenfalls in dem oberen und linken Randbereich des 2007 gefüllten Maissilos nach Siloöffnung festgestellt. Dies war jedoch nur im Bereich der 8 mm-Variante der Fall. Alle übrigen Versuchssilagen in Betrieb K wiesen keine sichtbare Verderbschicht und eine nach sensorischer Bewertung sehr gute Gärqualität auf.

Tab. II.2.2.2-2: Beschreibung der Versuchssilos / Betrieb K

Parameter	Mais	Grünschnittroggen u. perenn. Roggen	Sudangras	Wintertriticale	Mais
Ernte	2005	2006	2006	2007	2007
Siloart	Schlauchsilo	Schlauchsilo	Schlauchsilo	Fahrsilo	Schlauchsilo
Varianten (Häcksellänge)	4 mm; 8 mm; 8 mm+Siliermittel	Mischung aus Grün- schnittroggen und perenn. Roggen	4 mm; 7 mm	4 mm; 8 mm	4 mm; 8 mm
Silogröße/ Abmaße	Länge: 54,5 m Breite: 7,1 m Höhe: 2,2 m	Länge: 10,4 m Breite: 4,2 m Höhe: 1,95 m	Länge: 22,6 m Breite: 3,3 m Höhe: 1,85 m	Länge: 10,2 m Breite: 11,9 m Höhe: 0,95 m	Länge: 51 m Breite: 3,6 m Höhe: 1,95 m
Abdeckung	Siloschlauch, Schutz- gewebe	Siloschlauch, Schutz- gewebe	Siloschlauch, Schutz- gewebe	Unterziehfolie, Silofo- lie, Schutzgewebe	Siloschlauch, Schutz- gewebe
Lagerdauer	29.09.05-18.10.06 384 Tage	16.05.06-31.07.07 441 Tage	10.10.06-23.02.07 136 Tage	21.06.-10.09.07 81 Tage	14.09.07-11.02.08 150 Tage
Entnahmezeitraum	126 Tage	26 Tage	133 Tage	10.09.-21.12.07 102 Tage	11.02.-30.04.08 79 Tage
mittlerer Vorschub	0,4 m/d	0,4 m/d	0,2 m/d	0,1 m/d	0,5 m/d
Randbereiche	12-38 cm z. T. Schimmelbildung	keine Verderbschicht	keine Verderbschicht	keine Verderbschicht	keine Verderbschicht z.T. Schimmelbildung
Bemerkungen	Schlauch komplett gerissen (Sauerstoff- eintrag), danach so- fort abgedeckt	sehr kleines Silo, Varianten nicht ge- trennt	-	Silo flach, Wände nur an 2 Seiten	kleine Verletzungen des Siloschlauches

Tab. II.2.2.2-3: Beschreibung der Versuchssilos / Betrieb M

Parameter	Mais	Grünschnittroggen	Sudangras	Wintertriticale	perennierender Roggen	Winterroggen
Ernte	2005	2006	2006	2007	2006	2007
Siloart	Freigärhaufen	Freigärhaufen	Freigärhaufen	Freigärhaufen	Freigärhaufen	Freigärhaufen
Varianten (Häcksellänge)	4 mm, 8 mm	6,8 mm, 11 mm	6,8 mm	4 mm, 8 mm	6,8 mm, 11 mm	4 mm, 8 mm
Silogröße/Abmaße	Länge: 23,5 m Breite: 10,9 m Höhe: bis 2,6 m	Länge: 16 m Breite: 14,1 m Höhe: bis 2,55 m	Länge: 8 m Breite: 14,1 m Höhe: bis 1,4 m	Länge: 23,1 m Breite: 13,8 m Höhe: bis 2,20 m	Länge: 25,7 m Breite: 13,5 m Höhe: bis 2,65 m	Länge: 27,8 m Breite: 13,6 m Höhe: bis 2,55 m
Abdeckung	Silofolie, Altreifen, Erde	Silofolie, Altreifen, Erde	Silofolie, Altreifen, Erde	Silofolie, Altreifen, Erde	Silofolie, Altreifen, Erde	Silofolie, Altreifen, Erde
Lagerdauer	21.09.05-21.03.07 546 Tage	01.06.06-03.11.06 155 Tage	28.09.06-26.06.07 271 Tage	19.06.07-20.10.07 123 Tage	03.06.06-04.06.07 366 Tage	15.06.07-01.07.07 16 Tage
Entnahmezeitraum	18 Tage	32 Tage (mit Pause)	5 Tage	20 Tage (Oktober)	11 Tage (Dezember) 22 Tage (Juni)	60 Tage (September)
mittlerer Vorschub	1,4 m/d	0,9 m/d	2 m/d	1,2 m/d	0,8 m/d	0,5 m/d
Randbereiche	12-20 cm dunkle Färbung	12-24 cm dunkle Färbung	15-30 cm dunkle Färbung	10-15 cm dunkle Färbung	15-24 cm dunkle Färbung	0-15 cm dunkle Färbung
Bemerkungen	Verletzungen der Folie	Verletzungen der Folie	Folie locker, kein konsequenter Luftabschluss	-	-	-



Abb. II.2.2.2-1: Abdeckung des Schlauchsilos im Betrieb K (links), geöffnetes Silo (rechts)

In Betrieb M erfolgte die Abdeckung der Silos ohne Unterziehfolie (**Abb. II.2.2.2-2**). Die Silofolie war zum Teil locker bzw. wies Verletzungen auf, so dass ein konsequenter Luftabschluss nicht immer gewährleistet war. Bei allen Praxissilos in Betrieb M war eine deutliche Randschicht sichtbar, die sich durch dunklere Färbung von der übrigen Silage unterschied. Besonders ausgeprägt war diese Randschicht bei der Sudangrassilage. Die sensorische Beurteilung der Silagen ergab bei Grünschnittroggen und perennierendem Roggen einen zum Teil strengen, unangenehmer Geruch und eine deutlich veränderte Färbung.



Abb. II.2.2.2-2: Abdeckung des Freigärhaufens im Betrieb M (links), Randschicht (rechts)

Bei der Entnahme von Silage dringt Sauerstoff in das Silo ein. Dies ermöglicht die rasche Vermehrung von Hefen und Schimmelpilzen, die die Lagerphase überdauert haben. Um das damit verbundene Risiko der Nacherwärmung und Entstehung hoher Verluste zu verringern wird ein Entnahmevorschub von wenigstens 1,5 m/Woche im Winter und 2,5 m/Woche im Sommer empfohlen (THAYSEN & WAGNER 2006). Diese Anforderung wurde in Betrieb M grundsätzlich erfüllt. Der Vorschub war hier mit bis zu 14 m/Woche zum Teil deutlich höher. In Betrieb K war die tägliche Menge an entnommener Silage durch die geringe Größe der Biogasanlage und die Kofermentation mit Rindergülle gering. Hier war die kleine Anschnittfläche der Schlauchsilos von Vorteil. Dennoch wurden die Anforderungen an den Vorschub bei Sudangras und Wintertriticale (Fahrsilo) nicht erfüllt. Die Entnahme der Silage erfolgte in beiden Betrieben mittels Frontlader und Greifschaufel. Dies bewirkte insbesondere in Betrieb M Auflockerungen im Anschnittbereich und war hinsichtlich der Vermeidung von Nacherwärmung negativ zu bewerten.

Gärqualität der Praxissilagen

Alle in Betrieb K erzeugten Praxissilagen wiesen bei Bewertung der gebildeten Gärprodukte nach DLG-Schlüssel (2006) eine „sehr gute“ Gärqualität auf (**Tab. II.2.2.2-4**).

Tab. II.2.2.2-4: Gärqualität der Praxissilagen in Betrieb K

Variante	n	TM	pH-Wert	MS	ES ¹⁾	BS ²⁾	Einwertige Alkohole ³⁾	Gärqualität
		[%]		[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[DLG-Punkte]
Mais (2005)								
8 mm								
Silomitte	6	37,3	3,7	4,7	1,7	n.n.	1,4	100
Silorand	9	38,3	3,8	3,1	2,2	0,1	0,3	96
8 mm+Siliermittel								
Silomitte	8	36,0	3,8	4,3	2,4	n.n.	2,1	96
Silorand	12	36,8	3,9	3,3	2,9	n.n.	0,8	97
4 mm								
Silomitte	6	37,5	3,7	5,1	1,1	n.n.	1,1	100
Silorand	9	41,2	4,1	3,1	1,2	0,1	0,3	97
Grünschnittroggen / perennierender Roggen								
Silomitte	2	25,4	3,9	8,9	1,7	n.n.	6,9	100
Silorand	3	26,8	3,9	8,2	1,5	0,1	5,6	100
Sudangras								
7 mm								
Silomitte	6	29,4	3,9	6,1	1,5	0,1	1,7	100
Silorand	9	31,6	3,9	5,4	1,5	0,1	1,6	98
4 mm								
Silomitte	6	30,9	3,9	4,6	1,4	0,2	1,5	100
Silorand	9	31,4	3,9	4,6	1,3	0,1	1,4	100
Wintertriticale								
8 mm								
Silomitte	3	27,0	4,1	6,0	1,3	0,1	0,6	97
Silorand	3	29,2	4,1	5,1	1,1	0,1	0,6	98
4 mm								
Silomitte	3	29,6	4,1	5,4	0,8	n.n.	0,8	97
Silorand	3	32,2	4,1	4,3	1,0	n.n.	0,7	100
Mais (2007)								
8 mm								
Silomitte	6	34,3	3,9	4,9	1,2	n.n.	1,0	100
Silorand	9	34,2	3,9	4,4	0,9	n.n.	0,7	100
4 mm								
Silomitte	6	35,1	3,8	4,8	1,0	n.n.	1,0	100
Silorand	9	35,0	3,8	4,4	1,0	n.n.	0,9	100

MS... Milchsäure, ES... Essigsäure, BS... Buttersäure,

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Bei den untersuchten Silagen überwog die Milchsäuregärung, es wurden nur geringe Buttersäuregehalte bis 0,2 % TM analysiert. Im Vergleich der Pflanzenarten wies vor allem der Grünschnittroggen hohe Milchsäuregehalte bis 8,9 % TM und hohe Ethanolgehalte bis 6,9 % TM auf. Die Essigsäuregehalte lagen bei den untersuchten Silagen bei ca. 1 - 2 % TM mit Ausnahme der Maissilage, die mit Zusatz des Siliermittels konserviert wurde. Durch den mit dem Siliermittel zugegebenen Anteil heterofermentativer Milchsäurebakterien erfolgte die Milchsäuregärung verstärkt unter Bildung von Essigsäure.

Die Proben des „Silorandes“ unterschieden sich von der „Silomitte“ im Wesentlichen durch leicht höhere TM-Gehalte, durch bis zu 2 % niedrigere Milchsäuregehalte sowie durch etwas geringere Gehalte an einwertigen Alkoholen. Sichtbarer Verderb war nur bei der 2005 geern-

teten Maissilage durch das defekte Schlauchsilo in der äußeren 12 bis 38 cm dicken Randschicht zu verzeichnen. Die Gärqualität außerhalb dieser Schicht an den Probenahmestellen des „Silorandes“ wurde jedoch nicht durch sichtbaren Verderb gemindert und lag, wie in der Silomitte, im sehr guten Bereich.

Es wird davon ausgegangen, dass bei kürzerer Häcksellänge ein stärkerer Aufschluss des Erntegutes stattfindet, der die Gärbedingungen bei der Silierung verbessert. Es folgt eine schnellere und intensivere Säurebildung, die mit einer schnellen pH-Wert-Senkung und geringeren Stoffumsetzungen verbunden ist (ZIMMER 1967). Bei den vorliegenden Untersuchungen konnte dieser Zusammenhang jedoch nicht gefunden werden. Zwischen den in den Praxissilos untersuchten Häcksellängenvarianten einer Pflanzenart wurden nur geringe Unterschiede im Gärsäuremuster gemessen. Die Silagen der 4 mm-Variante des 2005 geernteten Silomaises wiesen leicht höhere Milchsäuregehalte auf verglichen mit den Silagen mit einer theoretischen Häcksellänge von 8 mm. Bei den übrigen Pflanzenarten wurden bei den kürzeren Häcksellängenvarianten jeweils leicht niedrigere Milchsäuregehalte analysiert. Ebenso war kein gerichteter Einfluss der Häcksellänge auf den pH-Wert, die Gärqualität oder den Restzuckergehalt in den Silagen erkennbar. Nach MUCK ET AL. (2003) werden in Versuchen im Praxismaßstab mit unterschiedlichen Häcksellängen häufig keine oder keine eindeutigen Effekte auf die Fermentationsprodukte gemessen. Der Einfluss der Häcksellänge auf die Fermentationsprozesse wird vorrangig in Laborsilos nachgewiesen. Ursache könnten höhere Dichten und Drücke in Praxissilos sein, die eine gleichmäßigere Verfügbarkeit von vergärbaren Zuckern auch bei gröberen Häcksellängen gewährleisten (BAXTER ET AL. 1966).

Die Gärqualität der Praxissilagen in Betrieb M (**Tab. II.2.2.2-5**) konnte bei Mais mit „gut“ bis „sehr gut“ bewertet werden, wobei nur die Variante mit 8 mm Häcksellänge leichte Buttersäuregehalte aufwies. In den Silagen des Grünschnittroggens und perennierenden Roggens wurden hingegen etwas höhere Buttersäuregehalte bis 1 % TM und vor allem bei dem perennierenden Roggen erhöhte Essigsäuregehalte bis 3,8 % TM analysiert. Trotz hoher Anteile an Milchsäure in den Silagen war der pH-Wert zum Teil nicht ausreichend tief gesunken. Ursache hierfür könnte die schlechte Vergärbarkeit der Ausgangsmaterialien (Tab. II.2.2.2-1) gewesen sein. Die Bildung von Butter- und Essigsäure ist auf die Aktivität von Clostridien zurückzuführen, die insbesondere bei relativ niedrigen TM-Gehalten und unzureichend niedrigen pH-Werten günstige Wachstumsbedingungen finden (EGG ET AL. 1993). Mit diesen Umsetzungsprozessen sind hohe TM-Verluste verbunden. Entsprechend der Bewertung nach DLG-Schlüssel (2006) lag die Gärqualität der Silagen des Grünschnittroggens und perennierenden Roggens im „guten“ bis „verbesserungsbedürftigen“ Bereich. Das Erntegut des Sudangrases war ebenfalls als „schwer silierbar“ eingestuft worden (Tab. II.2.2.2-1). Bei der Sudangras-Praxissilage unterschieden sich die „Silorand“-Proben mit „sehr schlechter“ Gärqualität deutlich von den Proben der „Silomitte“ mit „sehr guter“ Gärqualität. Im „Silorand“ waren hohe pH-Werte und eine erhöhte Buttersäurebildung zu verzeichnen, während die Milchsäuregehalte im Mittel unter 2 % TM lagen. Um 5,6 % niedrigere TM-Gehalte verglichen mit der „Silomitte“ deuten auf hohe TM-Verluste im Randbereich hin. Ursache hierfür war sicherlich auch die unzureichende Abdeckung des Silos, die keinen konsequenten Sauerstoffabschluss gewährleistete. Das 2007 konservierte Erntegut der Wintertriticale und des Winterroggens war hingegen leicht silierbar. Die erzeugten Silagen wiesen eine „sehr gute“ Gärqualität auf. Der „Silorand“ unterschied sich jedoch auch hier von der „Silomitte“ durch etwas höhere pH-Werte und bis zu 2,8 % TM niedrigere Milchsäuregehalte in den Silagen.

Im Vergleich der Häcksellängenvarianten wurden bei Mais, perennierendem Roggen, Wintertriticale und Winterroggen etwas höhere Milchsäuregehalte und teilweise bessere Gärqualitäten mit kürzerer Häcksellänge analysiert. Bei Grünschnittroggen wies hingegen die Silage mit 11 mm theoretischer Häcksellänge eine bessere Gärqualität als die Silage mit 6,8 mm theoretischer Häcksellänge auf. Ein direkter Vergleich der Häcksellängenvarianten ist durch die zeitlich getrennte Entnahme der Silagen und damit durch den Einfluss einer unterschiedlichen Lagerdauer erschwert.

Tab. II.2.2.2-5: Gärqualität der Praxissilagen in Betrieb M

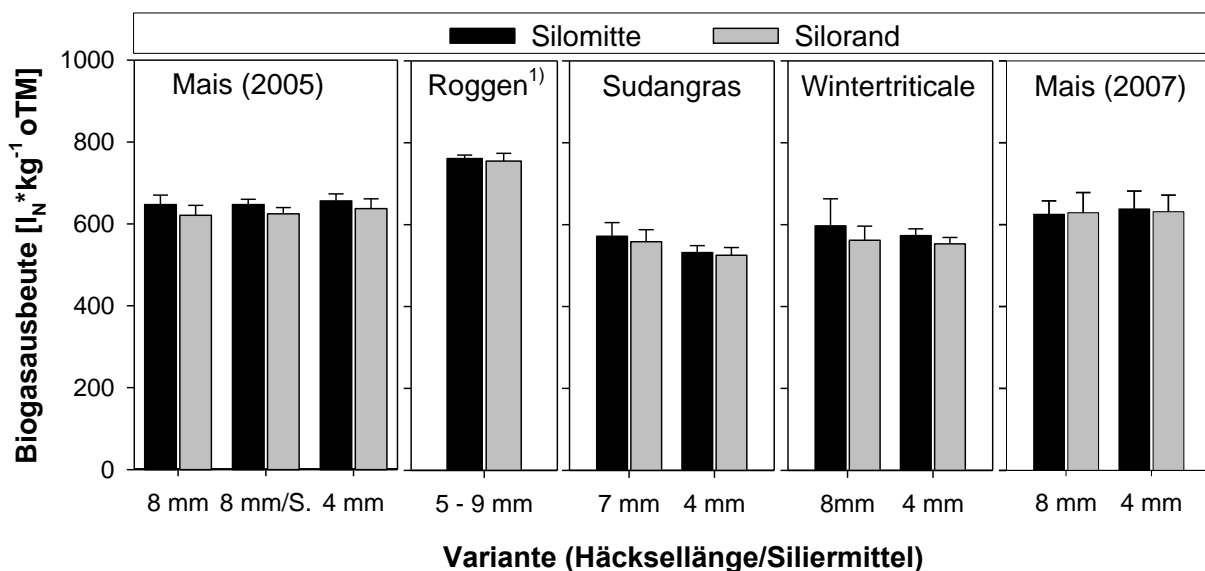
Variante	n	TM	pH-Wert	MS	ES ¹⁾	BS ²⁾	Einwertige Alkohole ³⁾	Gärqualität
		[%]		[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[DLG-Punkte]
Mais								
8 mm								
Silomitte	4	34,4	3,8	5,4	1,7	0,1	2,7	100
Silorand	6	32,9	3,9	3,9	2,3	0,6	2,2	84
4 mm								
Silomitte	6	32,5	3,7	5,4	2,4	n.n.	2,6	99
Silorand	9	33,5	3,8	5,0	2,1	n.n.	1,8	99
Grünschnittroggen								
11 mm								
Silomitte	6	25,1	3,9	8,1	1,7	n.n.	0,6	100
Silorand	9	25,1	4,2	6,5	1,8	0,2	0,5	97
6,8 mm								
Silomitte	8	24,9	4,5	5,6	2,1	0,9	0,8	67
Silorand	12	25,1	4,1	6,2	1,9	0,3	0,5	87
Sudangras								
Silomitte	2	35,8	4,5	4,1	1,9	0,1	1,0	100
Silorand	3	30,2	4,6	1,9	2,5	3,4	1,5	21
Wintertriticale								
8 mm								
Silomitte	6	36,4	4,0	5,4	0,9	n.n.	1,1	100
Silorand	9	37,1	4,1	4,0	0,9	n.n.	0,9	100
4 mm								
Silomitte	2	36,8	4,0	5,4	1,4	n.n.	1,0	100
Silorand	3	36,8	4,1	4,3	1,0	n.n.	0,7	100
perennierender Roggen								
11 mm								
Silomitte	6	25,2	4,3	5,7	3,7	0,2	1,3	77
Silorand	9	23,7	4,5	4,4	3,8	0,5	1,2	66
6,8 mm								
Silomitte	8	24,4	4,1	7,2	2,6	0,3	1,1	83
Silorand	12	23,7	4,4	5,5	3,3	1,0	0,9	60
Winterroggen								
8 mm								
Silomitte	6	35,0	4,2	4,2	0,8	0,1	0,1	100
Silorand	9	36,0	4,4	2,7	0,7	n.n.	0,3	98
4 mm								
Silomitte	4	35,6	4,0	5,7	1,1	0,1	0,2	100
Silorand	6	35,0	4,3	2,9	0,9	n.n.	0,2	100

MS... Milchsäure, ES... Essigsäure, BS... Buttersäure,

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Ergebnisse Biogasausbeute (Batch-Gärtest)

Die den Praxissilos entnommenen Proben wurden im Labor auf ihre Biogasbildung in 30 Tagen im Batch-Gärtest geprüft. Ergebnisse der Biogasausbeuten sind für den Betrieb K in **Abb. II.2.2.2-3** dargestellt. Die höchsten Biogasausbeuten bezogen auf die oTM wurden in Betrieb K von dem Gemisch aus Grünschnittroggen und perennierendem Roggen erzielt. Zu den hohen Biogasausbeuten hat die sehr frühe Ernte des Roggens beigetragen. Die Silagen wiesen mit durchschnittlich 14,3 % TM hohe Gehalte an Rohprotein und mit 5,1 % TM relativ geringe Ligningehalte, jedoch mit 10,6 % TM auch hohe Gehalte an Rohasche auf. Bezogen auf die FM lagen die Biogasausbeuten daher im Vergleich der Pflanzenarten um 22 und 15 % unter den Biogasausbeuten von Mais im Erntejahr 2005 und 2007. Mit 621 bis 656 I_N Biogas je kg oTM im Erntejahr 2005 und 626 bis 638 I_N Biogas je kg oTM im Erntejahr 2007 überstieg die Biogasausbeute der Maissilagen die Biogasausbeute der Wintertriticalesilagen um bis zu 15 % und der Sudangrassilagen um bis zu 23 %.



¹⁾Mischung aus Grünschnittroggen und perennierendem Roggen

Abb. II.2.2.2-3: Biogasausbeuten der Praxissilagen im Batch-Gärtest / Betrieb K

Die Silagen vom „Silorand“ wiesen um 1 bis 6 % geringere Biogasausbeuten auf als die Silagen aus der „Silomitte“. Ausnahme war nur die 8 mm-Variante des 2007 geernteten Mais, bei dem kein Unterschied zwischen Silorand und Silomitte gemessen wurde.

Durch Zusatz des biologischen Siliermittels A in Betrieb K zu Mais (2005) konnte im Gegensatz zu den Laboruntersuchungen (**Abschnitt II.2.1.3**) bei den Praxissilagen kein Effekt auf die Biogasausbeute ermittelt werden. Allerdings waren auch die Unterschiede im Gär säuremuster der Praxissilagen geringer als bei Konservierung im Labormaßstab.

Das Häckseln des Pflanzenmaterials zur Ernte stellt eine mechanische Aufbereitung dar. Mit kürzerer Häcksellänge werden neben der Vergrößerung der Partikeloberflächen auch Zellstrukturen aufgebrochen und dadurch extrazelluläre Substanzen freigesetzt. Dies führt zu einer erhöhten Verfügbarkeit von Nährstoffen und leistet einen Beitrag zur Verbesserung der Vergärbarkeit und zur Erhöhung der Energieausbeute. Bisherige Untersuchungen zum Einfluss der Häcksellänge auf die Biogasausbeute von Mais haben jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt. Während WEIß & BRÜCKNER (2008) einen deutlichen Anstieg der Me-

thanausbeute mit kürzerer Häcksellänge ermittelten, wird von OECHSNER & LEMMER (2009) von keinem signifikanten Unterschied in der Abbaugeschwindigkeit und im Methanertrag bei Häcksellängen von 4 bis 10 mm berichtet. Es ist zudem zu beachten, dass minimale Häcksellängen z.T. zur Leistungsminderung bei der Ernte führen können und dass eine Reduzierung der Häcksellänge den Dieselverbrauch erhöht.

Die im vorliegenden Projekt untersuchten Häcksellängenvarianten einer Pflanzenart in Betrieb K unterschieden sich in der ermittelten Biogasausbeute nur geringfügig (Abb. II.2.2.2-3). Bei Mais wurden mit 4 mm theoretischer Häcksellänge in der Silomitte um 1 bis 2 % höhere Biogasausbeuten gemessen als mit 8 mm theoretischer Häcksellänge. Bei Wintertriticale lag die Biogasausbeute der kurzen Häcksellängenvariante um 4 % und bei Sudangras um 7 % unter der Biogasausbeute der langen Häcksellänge. Allerdings wurden bei Sudangras und Wintertriticale mit längerer Häcksellänge abnehmende TM-Gehalte und zunehmende Aschegehalte in den Silagen analysiert. Dies deutet auf höhere Fermentationsverluste bei der Silierung mit größerer Häcksellänge hin. Bezogen auf die FM wirkte sich auch bei Sudangras bzw. Winterroggen die kurze Häcksellänge durch 4 bzw. 5 % höhere Biogasausbeuten positiv aus. Die relativ geringen Unterschiede in der Biogasausbeute zwischen den Varianten sind jedoch statistisch nicht gesichert.

Ähnliche Ergebnisse wurden für die Praxissilagen des Betriebes M ermittelt (**Abb. II.2.2.2-4**). Die höchsten Biogasausbeuten wurden hier mit bis zu 656 I_N Biogas je kg oTM von Mais erzielt, gefolgt von Wintertriticale mit bis zu 598 I_N Biogas je kg oTM. Die Biogasausbeuten der Silagen des Grünschnittroggens, perennierenden Roggens und Winterroggens lagen auf gleichem Niveau. Von Sudangras wurden mit weniger als 440 I_N Biogas je kg oTM sehr niedrige Biogasausbeuten im Batch-Gärtest analysiert. Ursache hierfür waren zum einen die schlechten Gärqualitäten, die mit hohen Verlusten an organischer Substanz verbunden waren. Hohe Anteile an Ammoniakstickstoff von bis zu 40 % am Gesamtstickstoff deuten auf den Abbau von Proteinen hin. Zum anderen war der hohe Unkrautanteil mit hohen Ligningehalten von im Mittel 17 % TM und hohen Aschegehalten von 14 % TM verbunden. Dies führte zu einer deutlichen Minderung der Gasbildung.

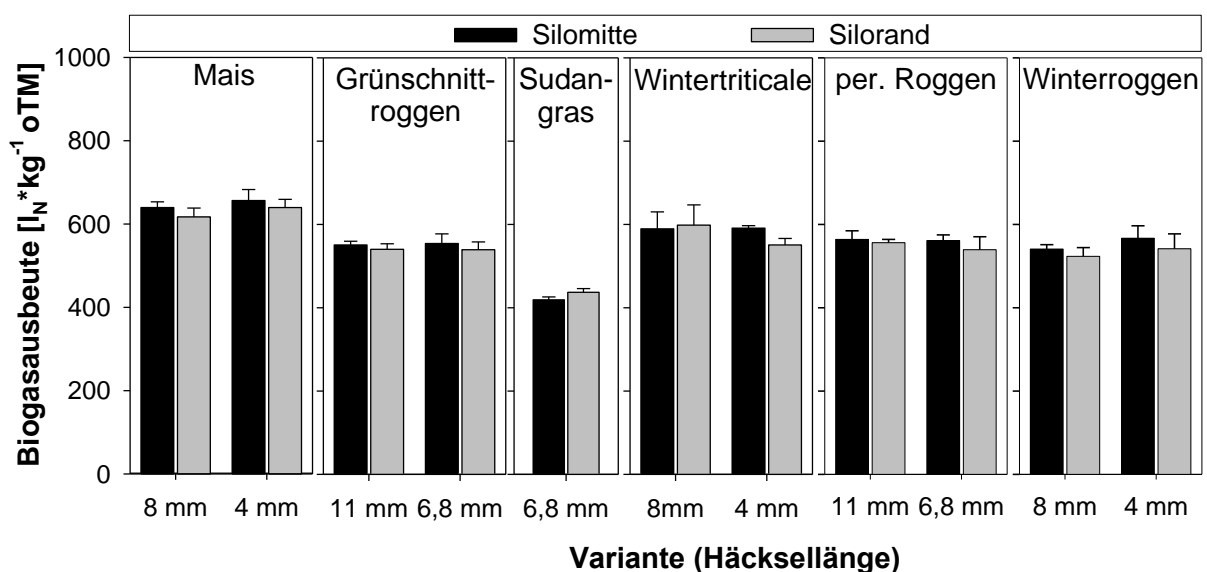


Abb. II.2.2.2-4: Biogasausbeuten der Praxissilagen im Batch-Gärtest / Betrieb M

Ebenso wie bei Betrieb K wurden auch in Betrieb M bei den Silagen des „Silorandes“ fast durchgängig etwas geringere Biogasausbeuten (2 – 6 %) gemessen als bei den Silagen aus der „Silomitte“ bei gleicher Variante. Ausnahme war das Sudangras, bei dem von Proben des „Silorandes“ trotz deutlich schlechterer Gärqualität eine um 4 % höhere Biogasausbeute bezogen auf die oTM der Silage erzielt wurde als von den Proben aus der „Silomitte“. Die Proben des „Silorandes“ wiesen hier jedoch um 6 % niedrigere TM-Gehalte und um 2 % TM niedrigere oTM-Gehalte auf. Dies lässt ebenso wie der Buttersäuregehalt der Silagen auf deutlich höhere Verluste an oTM im „Silorand“ verglichen mit der „Silomitte“ schließen. Mit der FM als Bezugsbasis lagen auch bei den Sudangrassilagen des „Silorandes“ in Betrieb M die Biogasausbeuten um 14 % unter den Biogasausbeuten der „Silomitte“.

Die Häcksellängenvarianten in Betrieb M zeigten ähnlich wie in Betrieb K nur geringe Unterschiede in der Biogasausbeute (Abb. II.2.2.2-4). Bei Mais, Grünschnittroggen und Winterroggen wurden um 1 bis 5 % höhere Biogasausbeuten in der „Silomitte“ bei kürzerer Häcksellänge verglichen mit der gröberen Häcksellängenvariante gemessen. Bei dem perennierenden Roggen und der Wintertriticale ergab sich diesbezüglich kein Unterschied. Anhand der geringen Differenzen zwischen den Häcksellängenvarianten lässt sich nicht eindeutig auf eine positive Wirkung einer sehr kurzen Häcksellänge auf die Biogasbildung schließen.

II.2.2.3 Monitoring der Biogasanlagen

Betrieb K

Aufgrund der geringen Anlagengröße, der Kofermentation mit Rindergülle und zusätzlichem Einbringen von Maissilage bzw. Getreideschrot bei der Verwertung der Versuchssilagen waren die Zugabephasen in Betrieb K je Versuchssilo mit Ausnahme des Roggens verhältnismäßig lang (**Tab. II.2.2.3-1**). Bei Mais (Ernte 2005) und Sudangras entsprechen sie etwa dem 1,2fachen der Verweilzeit des Substrates in der Biogasanlage. In **Abb. II.2.2.3-1** sind die Biogasproduktion sowie die Gasqualität (Methangehalt) während der Dauer des Anlagenmonitorings in Betrieb K im Überblick dargestellt. Der Tab. II.2.2.3-1 können entsprechend die Zugabephasen der Versuchssilagen entnommen werden.

Insgesamt variierte die Biogasproduktion im Untersuchungszeitraum zwischen 200 und 800 m³_N pro Tag. Der Methangehalt im Biogas lag vorwiegend zwischen 50 und 60 Vol-%, nur vereinzelt wurden niedrigere Methangehalte unter 50 Vol-% gemessen. Die Biogasproduktion im Untersuchungszeitraum verlief ohne biologische Störungen. Technische Störungen traten nur kurzzeitig auf und waren zumeist mit der Feststoffzufuhr verbunden (Schubboden, Förderschnecke, Homogenisator).

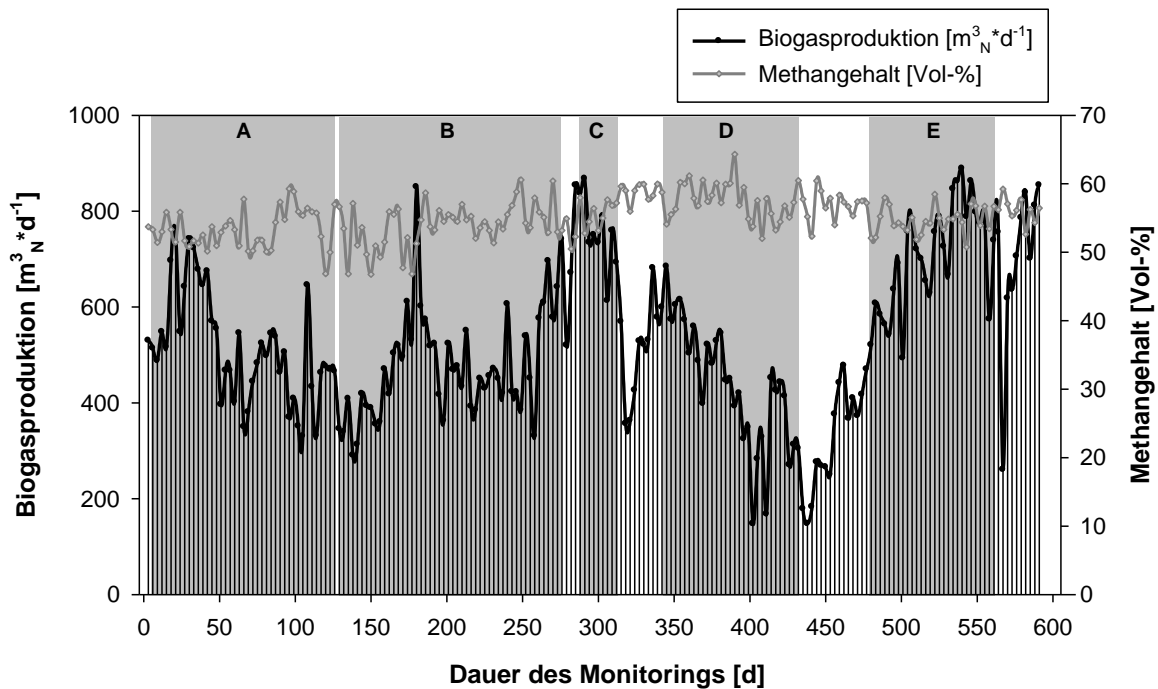


Abb. II.2.2.3-1: Biogasproduktion und Methangehalte als Drei-Tages-Mittel während des Anlagenmonitorings / Betrieb K im Zeitraum von 19.10.2006 bis 30.05.2008

Tab. II.2.2.3-1: Zugabezeiträume der Versuchssilagen

Phase	Zugabe Biomasse aus Versuchssilo	Zeitraum der Zugabe
A	Mais	19.10.2006-20.02.2007
B	Sudangras	23.02.-06.07.2007
C	Grünschnittroggen / perennierender Roggen	31.07.-26.08.2007
D	Wintertriticale	23.09.07-21.12.2007
E	Mais	11.02.-30.04.2008

Abb. II.2.2.3-2 bis II.2.2.3-6 zeigen im Detail zugegebene oTM-Massen sowie die Methanproduktion im Zugabezeitraum der Versuchssilagen.

Die Zugabe der Maissilage in den Fermenter in Betrieb K erfolgte ohne Probleme. Im Untersuchungszeitraum wurden dabei insgesamt täglich ca. 0,5 bis 1,5 t organische Trockenmasse zugegeben, wobei etwa 65 % der oTM aus der Maissilage und 35 % aus der Rindergülle stammten. Die Methanausbeute betrug im Mittel $290 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ und lag damit im mittleren Wertebereich, der für diese Substratmischung in Praxisanlagen zu erwarten ist.

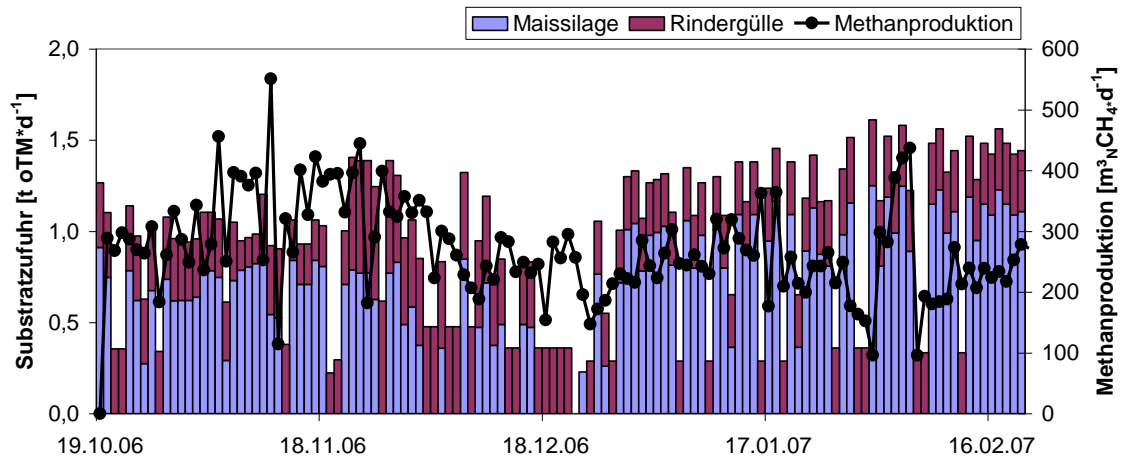


Abb. II.2.2.3-2: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Maissilage aus dem Versuchssilo / Betrieb K

Die Zugabe der Sudangras-Ganzpflanzensilage war im Betrieb K nur als Mischung mit Maissilage möglich, da andernfalls Verstopfungen in der Feststoffeinbringung auftraten. Insgesamt wurden täglich 0,3 bis 1,4 t oTM der Substratmischung zugegeben (Abb. II.2.2.3-3). Aus der Substratmischung mit 50 % oTM aus der Rindergülle und 50 % oTM aus Energiepflanzen konnte eine mittlere Methanausbeute von $332 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ erzielt werden. Diese liegt im oberen Bereich der zu erwartenden Methanbildung.

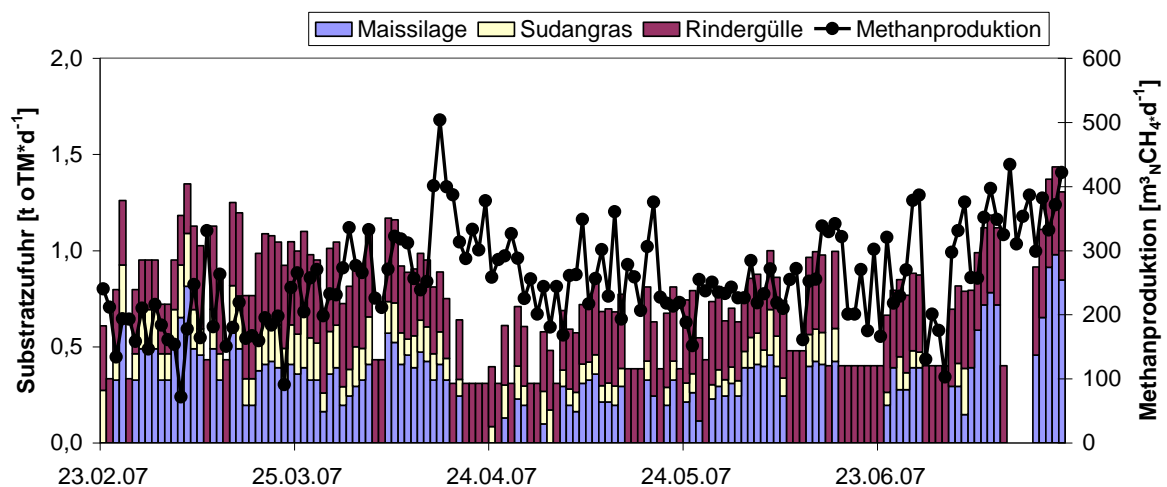


Abb. II.2.2.3-3: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Sudangras-Silage aus dem Versuchssilo / Betrieb K

Die Zufuhr der Mischung aus Grünschnittroggen und perennierender Roggen erfolgte täglich gemeinsam mit 200 bis 450 kg Getreideschrot und im Mittel $6,5 \text{ m}^3$ Rindergülle. Die zugegebene organische Trockenmasse betrug damit 0,5 bis 1,3 t pro Tag. Mit $470 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ wurde im Untersuchungszeitraum eine deutlich überdurchschnittliche Methanausbeute ermittelt. Aufgrund des kurzen Untersuchungszeitraumes ist dieser Wert jedoch nicht gesichert.

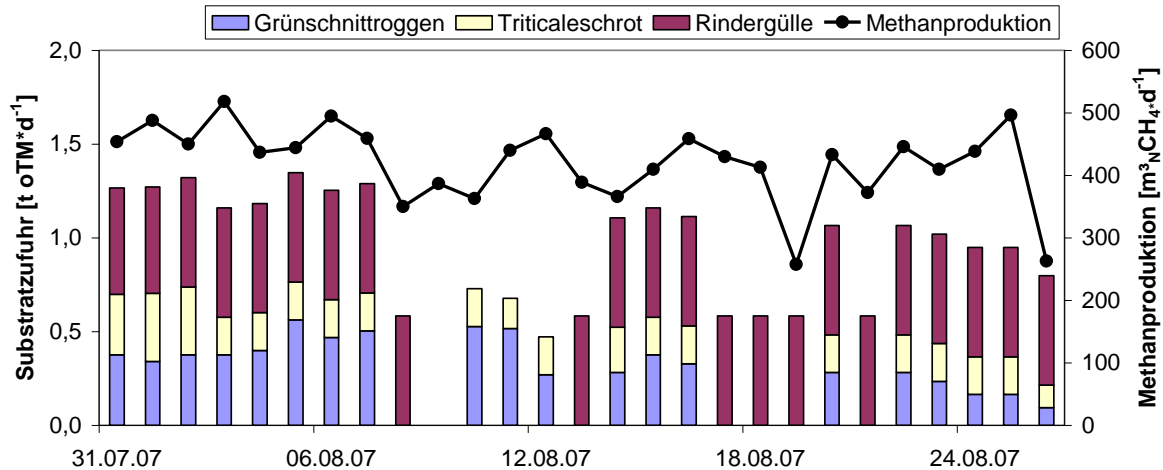


Abb. II.2.2.3-4: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum Grünschnittroggen/ perennierender Roggen aus dem Versuchssilo / Betrieb K

Die Zufuhr der Wintertriticale-GPS erfolgte gemeinsam mit ca. 0,25 t Getreideschrot sowie durchschnittlich 5,7 m³ Rindergülle (Abb. II.2.2.3-5). Kurzzeitig wurde das Getreideschrot durch Maissilage ersetzt. Wegen Technikausfällen musste sowohl die Zugabe der Flüssig- wie auch Feststoffe stellenweise unterbrochen werden. Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum täglich ca. 0,5 - 1,2 t oTM der Substratmischung eingesetzt, wobei ca. 40 % des organischen Materials aus der Rindergülle und 25 % aus der GPS stammten. Die dabei erzielte mittlere Methanausbeute von 349 m³_N CH₄*t⁻¹ oTM ist deutlich oberhalb gängiger Literaturwerte anzusiedeln.

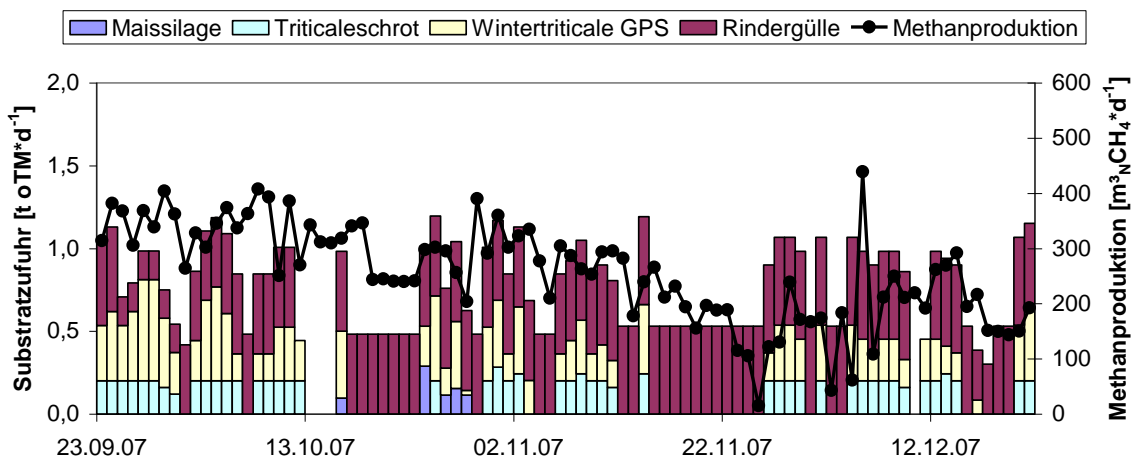


Abb. II.2.2.3-5: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum Wintertriticale aus dem Versuchssilo / Betrieb K

Die Zufuhr der Maissilage erfolgte gemeinsam mit durchschnittlich 8,9 m³ Rindergülle. Bis zum 17.01.08 wurden zusätzlich ca. 0,25 – 0,3 t an Getreideschrot beigemischt (Abb. II.2.2.3-6). Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum täglich ca. 0,5 - 1,2 t oTM der Substratmischung eingesetzt, wobei die organische Trockenmasse in etwa zu gleichen Teilen aus der Rindergülle und der Maissilage stammte. Die dabei erzielte mittlere Methanausbeute von 242 m³_N CH₄*t⁻¹ oTM ist im mittleren Bereich gängiger Literaturwerte anzusiedeln.

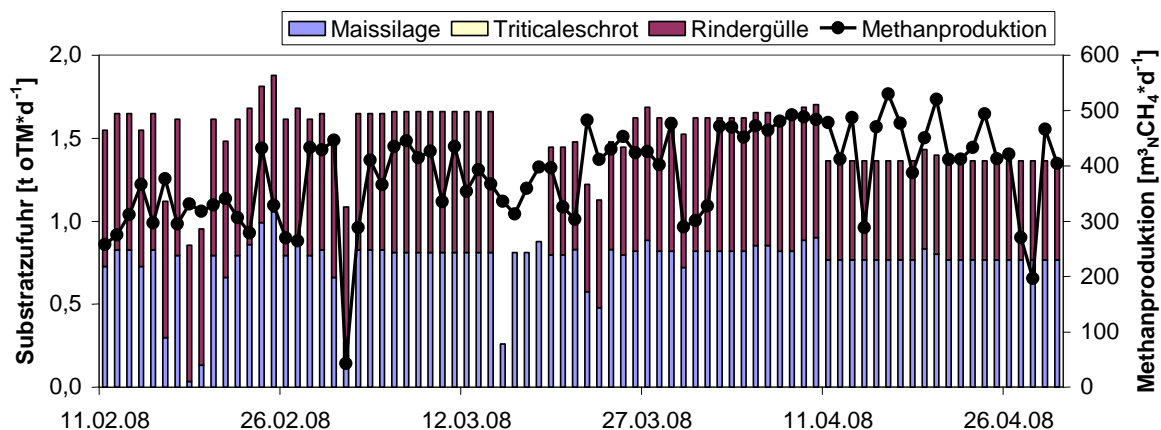


Abb. II.2.2.3-6: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum Maissilage aus dem Versuchssilo / Betrieb K

In **Tab. II.2.2.3-2** sind noch einmal wichtige Kennwerte für die einzelnen Zugabezeiträume der Versuchssilagen zusammengefasst.

Tab. II.2.2.3-2: Kennwerte der Biogasanlage in den Zugabezeiträumen der Versuchssilagen / Betrieb K (Alle Werte beziehen sich auf die Gesamtanlage und die Substratmischung)

Kennwerte		Mais-Silage	Sudan-gras Silage	Grünschnitt-Roggen/perenn. Roggensilage	Winter-Triticale GPS	Mais-silage	
Temperatur	°C	39,8	40,1	40,9	37,8	40,0	
Substratzufuhr	t FM/d	6,2	5,7	6,9	6,1	10,5	
	t oTM/d	0,9	0,8	0,9	0,7	1,4	
Raubelastung	kg oTM(m ³ _{AV} *d)	1,5	1,2	1,5	1,2	2,2	
Biogasproduktion	m ³ _N /d	510	477	760	446	606	
Methanproduktion	m ³ _N /d	270	257	420	257	335	
Biogas-qualität	CH ₄	Vol%	53,2	53,9	55,4	57,4	55,6
	CO ₂	Vol%	41,3	38,8	36,3	34,9	34,9
	O ₂	Vol%	1,6	1,5	1,8	1,6	1,9
	H ₂ S	ppm	588	373	670	670	839
Methanausbeute	m ³ _N /t FM	44	45	61	42	32	
	m ³ _N /t o TM	291	333	471	349	241	
spez. Energieertrag	kWh/t FM	154	156	255	160	139	
	kWh/t o TM	1279	1314	1683	1314	956	
el. Auslastung	%	48	46	76	49	67	

AV = Arbeitsvolumen

Betrieb M

Hier betragen die Zugabephasen der einzelnen Versuchssilagen aufgrund der Anlagengröße nur 5 bis 60 Tage. Da die Biogasanlage als Monofermentationsanlage gefahren wird, wurde neben den Versuchssilagen lediglich Gerstenkorn als Substrat zugegeben. Entsprechend lagen die Zugabemengen der Silagen bei 8 bis 13 t FM pro Tag.

Abb. II.2.2.3-7 gibt einen Überblick über die Biogasproduktion sowie die Gasqualität (Methangehalt) während der Dauer des Anlagenmonitorings in Betrieb M. Dargestellt sind jeweils 3-Tages-Mittelwerte. Den grauen Markierungen sowie der **Tab. II.2.2.3-3** können die Zugabephasen (A-F) der Versuchssilagen und erhebliche Störungen im Betrieb der Biogasanlage entnommen werden. Aus der Abbildung wird deutlich, dass der Methangehalt im Biogas während der gesamten Versuchsdauer relativ konstant um 50 Vol-% lag, während bei der Biogasproduktion zum Teil erhebliche Schwankungen auftraten. Ursache für die

Schwankungen waren in erster Linie Störungen der Biologie (Ammonium-Hemmung in Phase X; Abb. II.2.2.3-7) sowie technische Defekte in der Anlage (defektes Rührwerk im Fermenter in Phase Y). Weitere Schwankungen sind auf eine ungleichmäßige Substratzugabe zurückzuführen.

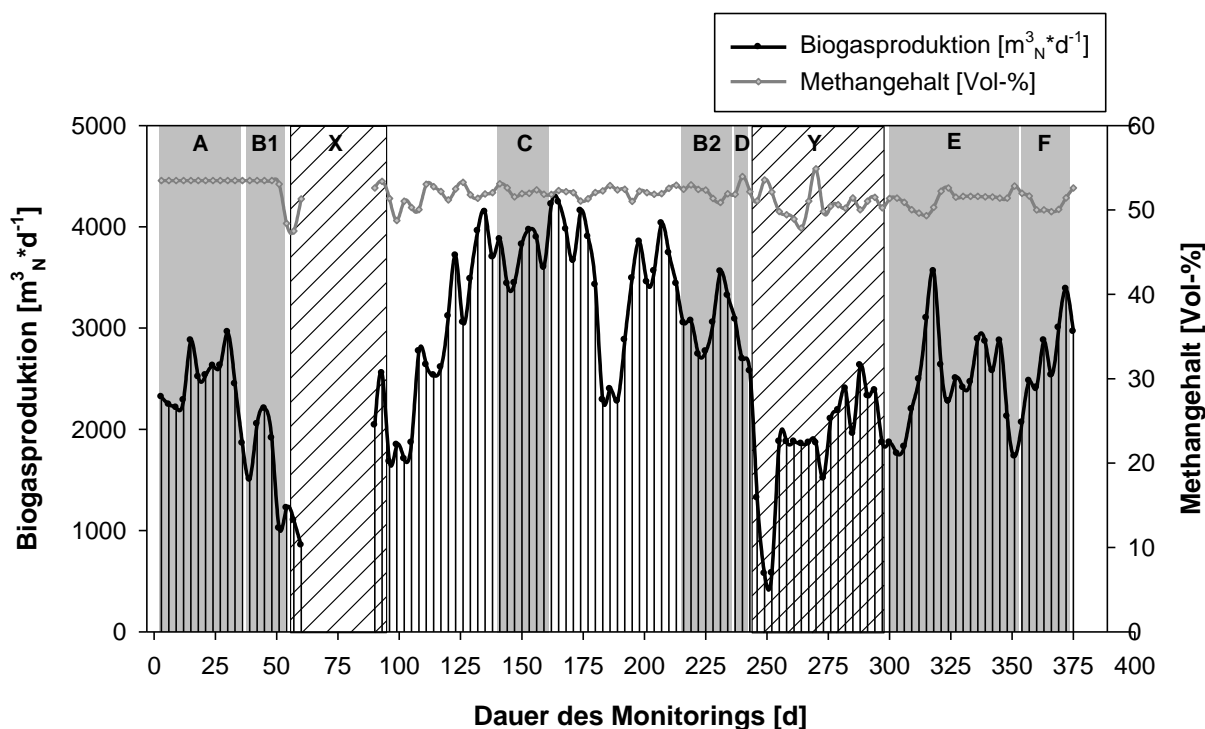


Abb. II.2.2.3-7: Biogasproduktion und Methangehalte während des Anlagenmonitorings / Betrieb M im Zeitraum vom 03.11.06 bis 09.11.07

Tab. II.2.2.3-3: Zugabezeiträume der Versuchssilagen

Phase	Zugabe Biomasse aus Versuchssilo	Zeitraum der Zugabe
A	Grünschnittroggen	03.11.-05.12.2006
B1	perennierender Roggen (1. Teil des Silos)	12.12.-23.12.2006
B2	perennierender Roggen (2. Teil des Silos)	04.06.-25.06.2007
C	Mais	21.03.-08.04.2007
D	Sudangras	26.06.-30.06.2007
E	Winterroggen	01.07.-04.07./ 24.08.-19.10.2007
F	Wintertriticale	20.10.-09.11.2007

Durch die kurzen Versuchszeiträume für die einzelnen Praxissilagen, die nur bis maximal ein Viertel der Verweilzeit des Substrates in der Biogasanlage entsprachen, ist keine genaue Aussage zur Biogasproduktion aus den einzelnen Silagen im Praxisbetrieb möglich. Die errechneten Methanausbeuten in Betrieb M liegen verhältnismäßig hoch, zum überwiegenden Teil über den im Batch-Gärttest gemessenen Werten. Möglicherweise werden diese hohen Methanausbeuten durch Adaption der Mikrobiologie sowie durch die lange Verweilzeit des Substrates im Fermenter und Nachgärer erreicht. Abb. II.2.2.3-8 bis II.2.2.3-13 zeigen im Detail zugegebene oTM-Massen sowie die Methanproduktion im Zugabezeitraum der Versuchssilagen.

Die zugeführte Gesamtmenge an organischer Trockenmasse lag mit 5 bis ca. 6 t oTM pro Tag im Zugabezeitraum der Maissilage am höchsten, wobei etwa 75 % der zugeführten oTM

aus der Silage stammten. Die Zufuhr erfolgte bis auf wenige Ausnahmen relativ gleichmäßig. Mit der Mischung konnte eine mittlere Methanausbeute von $397 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ erreicht werden. Dieser Wert überstieg die im Batchversuch erzielte Methanausbeute.

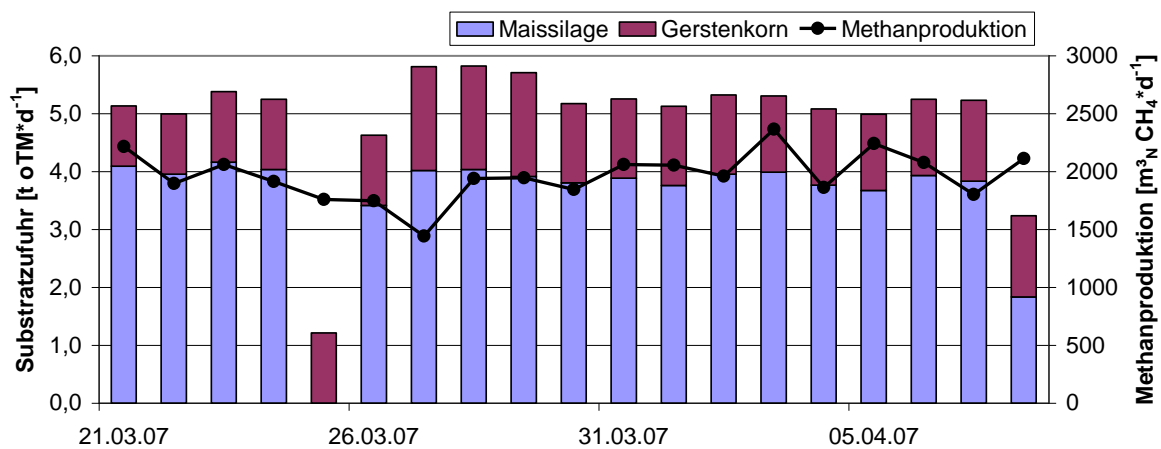
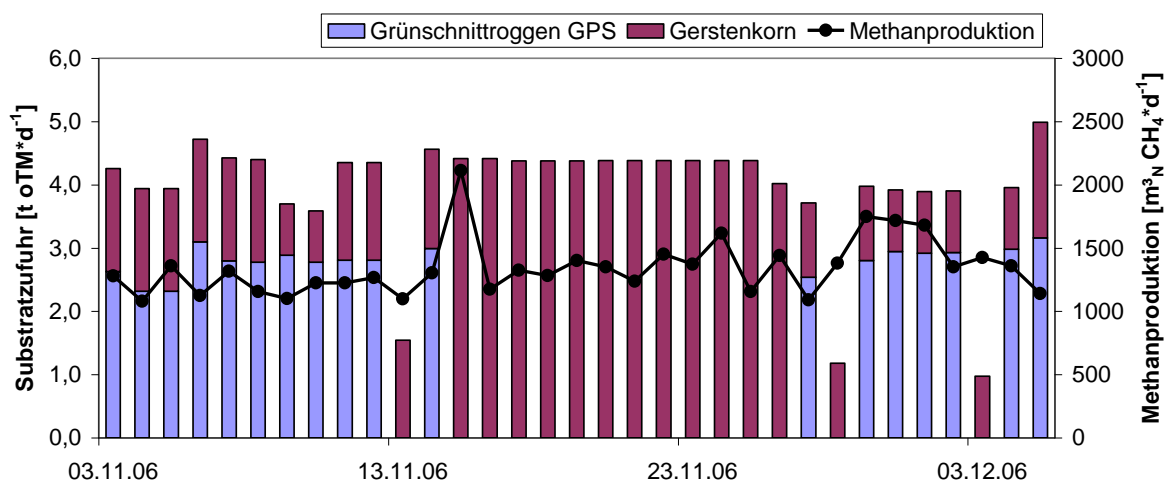


Abb. II.2.2.3-8: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Maissilage aus dem Versuchssilo / Betrieb M

Aufgrund technischer Probleme mit der Förderschnecke, die die Zufuhr der Silage in die Biogasanlage übernimmt, konnte im Untersuchungszeitraum des Grünschnittroggens 12 Tage nur Gerstenkorn der Anlage zugegeben werden. Insgesamt lag die tägliche Zufuhr an organischer Trockenmasse bei etwa 4 t. Kurz vor Beginn der Zugabe des Grünschnittroggens war der Fermenter im Betrieb M ohne Rücksprache auf thermophilen Betrieb umgestellt worden. Es ist davon auszugehen, dass diese Umstellung einen erheblichen Einfluss auf die Mikrobiologie im Fermenter hatte. Dennoch wurde im Zugabezeitraum eine mittlere Methanausbeute von $340 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ erreicht.



verringert und auf Maissilage sowie auf mesophilen Betrieb der Anlage umgestellt. Die Zugabe des perennierenden Roggens wurde erst ab Juni 2007 fortgeführt. Die in **Tab. II.2.2.3-4** errechneten Kennwerte beziehen sich auf den Versuchszeitraum im Juni. Die Zugabe an organischer Trockenmasse betrug 4 – 5 t pro Tag und war über den Versuchszeitraum leicht steigend. Für den Versuchszeitraum im Juni wurde ebenfalls eine höhere Methanausbeute als im Labor mit $378 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ bestimmt.

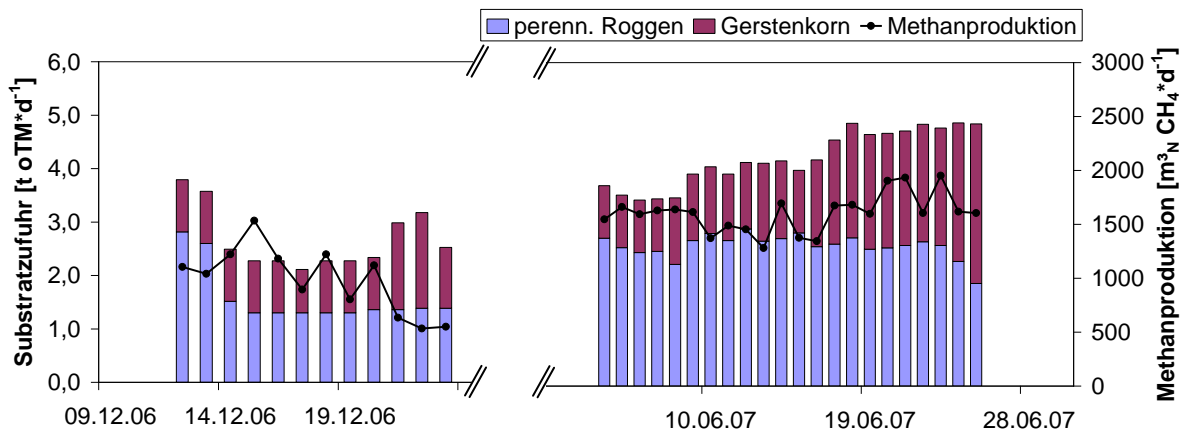


Abb. II.2.2.3-10: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum des perennierenden Roggens aus dem Versuchssilo / Betrieb M

Durch den niedrigen Flächenertrag des Sudangrases sowie hohen Verlusten bei der Silierung waren nur geringe Silagemengen für die Zugabe in die Biogasanlage in Betrieb M verfügbar. Das Versuchssilo war in nur 4 Tagen geleert. Die Silage konnte problemlos der Biogasanlage zugeführt werden, eine Auswertung des Untersuchungszeitraumes für Sudan-gras ist jedoch nicht sinnvoll.

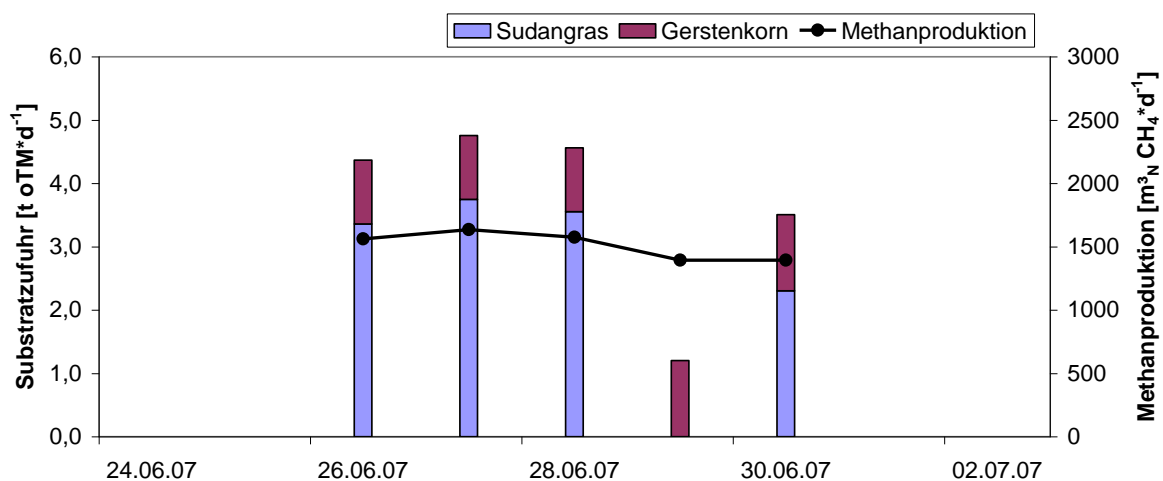


Abb. II.2.2.3-11: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Sudangras-GPS aus dem Versuchssilo / Betrieb M

Die Zugabe der Winterroggen-GPS musste ebenfalls unterbrochen werden; Ursache hier war der bereits erwähnte Rührwerksausfall. Begonnen wurde der Untersuchungszeitraum mit täglichen Zugabemengen um 6,5 t oTM, nach Wiederaufnahme der Fütterung wurde die Zugabemenge auf 3,5 bis 5 t oTM pro Tag verringert. Stammten Anfangs ca. 45 % der oTM

aus dem Winterroggen, wurde der Anteil gegen Ende auf ca. 75 % der oTM erhöht. Im Mittel wurde nach der Unterbrechung eine Methanausbeute von $347 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$ verzeichnet.

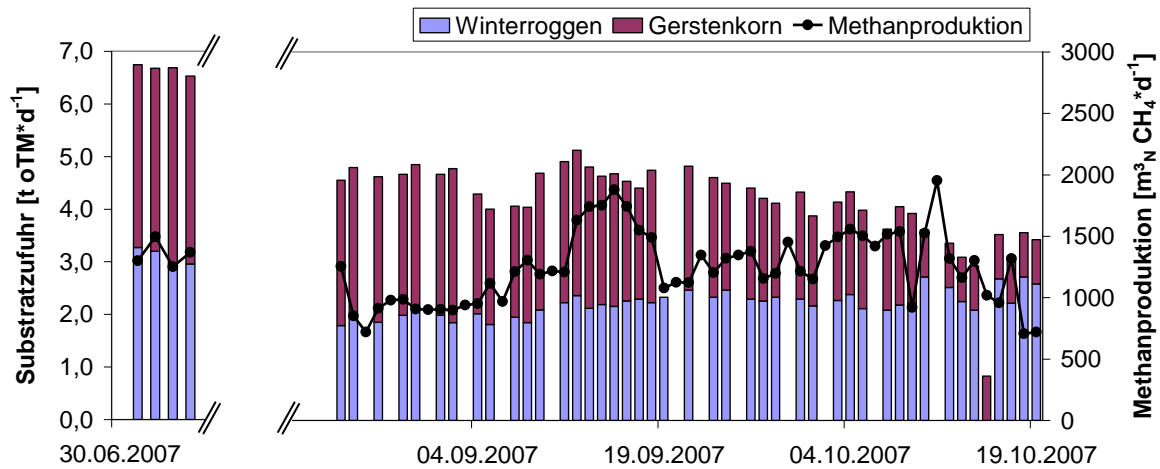


Abb. II.2.2.3-12: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Winterroggen-GPS aus dem Versuchssilo / Betrieb M

Die Zugabe der Wintertriticale erfolgte zusammen mit Gerstenkorn in einem Verhältnis von ca. 70 % zu 30 % der oTM. Insgesamt wurden so täglich ca. 4,3 bis 5,8 t oTM dem Fermenter zugeführt, für Unterbrechungen sorgten Störungen in der Feststoffeintrags. Die Methanausbeute betrug dabei im Durchschnitt ca. $289 \text{ m}^3_{\text{N}} \text{ CH}_4 \cdot \text{t}^{-1} \text{ oTM}$.

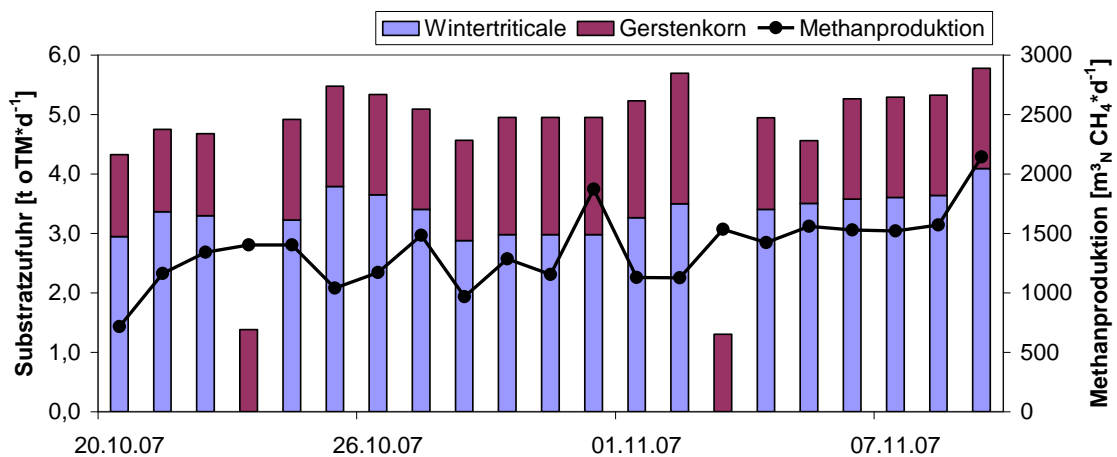


Abb. II.2.2.3-13: Zugeführte organische Trockenmasse und Methanproduktion im Zugabezeitraum der Wintertriticale-GPS aus dem Versuchssilo / Betrieb M

In Tab. II.2.2.3-4 sind noch einmal wichtige Kennwerte für die einzelnen Zugabezeiträume der Versuchssilagen zusammengefasst.

Tab. II.2.2.3-4: Kennwerte der Biogasanlage in den Zugabezeiträumen der Versuchssilagen / Betrieb M (Alle Werte beziehen sich auf die Gesamtanlage und die Substratmischung)

Kennwerte			Mais-silage	Grün-schnitt Roggen	perenn. Roggen (Sommer)	Sudan-gras-silage	Winter-roggen GPS	Winter-triticale GPS
Temperatur	Stufe 1	°C	44,8	56,7	47,8	43,3	47,4	48,4
	Stufe 2		39,1	40,1	42,5	43,6	38,2	36,4
Substratzufuhr		t FM/d	12,9	9,5	11,8	10,7	8,3	10,7
		t oTM/d	4,9	4,0	3,7	3,7	3,8	4,7
Raumbelastung		kg oTM(m ³ _{AV} *d)	3,0	2,4	2,2	2,2	2,3	2,8
Biogasproduktion		m ³ _N /d	3716	2513	2628	2843	2434	2679
Methanproduktion		m ³ _N /d	1940	1344	1375	1512	1246	1358
Biogasqualität	CH ₄	Vol%	52,2	53,5	52,5	53,2	51,3	50,7
	CO ₂	Vol%	44,7	n.b.	42,1	42,3	43,9	n.b.
	O ₂	Vol%	0,0	n.b.	0,0	0,0	0,0	n.b.
	H ₂ S	ppm	1	n.b.	148	148	31	n.b.
Methanausbeute		m ³ _N /t FM	152	142	118	141	156	127
		m ³ _N /t o TM	397	340	378	411	347	289
Energieausbeute		kWh/t FM	636	n.b.	421	1119	262	718
		kWh/t o TM	1361	n.b.	1360	2029	913	1262
el. Auslastung		%	59	n.b.	34	49	37	40

AV = Arbeitsvolumen

Fazit: Beide Anlagen können ihre BHKW im Untersuchungszeitraum nicht voll auslasten. Während dies bei Betrieb K zum größten Teil auf die geringe Faulraumbelastung zurückzuführen ist, sind die Gründe bei Betrieb M eher bei den genannten Störungen zu finden. Bei beiden Anlagen wurden teilweise höhere Methanausbeuten ermittelt als in den parallelen Batchversuchen erzielt wurden. Dieses wird in der Literatur durch eine möglicherweise bessere Adaption der beteiligten Mikroorganismen bei den kontinuierlich betriebenen Biogasanlagen erklärt. Zusätzlich muss aber berücksichtigt werden, dass durch die praxisbedingt verhältnismäßig geringen Zugabemengen der Versuchssilagen die Aussagekraft der ermittelten Kenngrößen eingeschränkt wird. Die Zugabezeiten unterschritten dabei teilweise deutlich die Verweilzeiten im Fermentersystem, wodurch sich kein stabiler Betrieb einstellen konnte. Damit kann auch von einer Überlagerung der Auswirkung verschiedener aufeinander folgender Versuchssilagen ausgegangen werden. Da in beiden Anlagen jeweils eine Substratmischung gefahren wurde, sind Rückschlüsse auf die Einzelsubstrate erschwert.

Dazu kamen in Betrieb M die kurzzeitige Umstellung auf eine thermophile Betriebsführung sowie mehre große Betriebsstörungen, was eine Verallgemeinerung zusätzlich erschwert.

Generell kann aber die Eignung aller verwendeten Substrate für die Biogaserzeugung bezüglich der Vergärbarkeit angenommen werden. Probleme gab es einzig technischer Art bei der Zugabe der Sudangrassilage durch eine nicht angepasste Feststoffeinbringung.

II.3 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aus der Gesamtbewertung der Ergebnisse lässt sich folgendes Fazit ziehen: Eine gute Silierbarkeit ist notwendige Voraussetzung für eine verlustarme Konservierung von Biogaspflanzen. Sie sollte angestrebt werden, um wertgebende Inhaltsstoffe über einen längeren Zeitraum zu bewahren und das Methanbildungspotenzial des Erntegutes zu erhalten. Eine Verbesserung der Silierbarkeit kann über optimierte Erntetermine bzw. siliertechnische Maßnahmen, wie z.B. Anwelken, Silierzusatz, erreicht werden. Für einen guten Silieverlauf und hohe Methanausbeuten empfehlen sich kurze Häcksellängen bei der Ernte. Bei sehr kurzer Längeneinstellung können erhöhte Kosten, bedingt durch z.B. erhöhten Dieserverbrauch, geringeren Durchsatz, z.T. nicht durch höhere Methanausbeuten kompensiert werden. Hohe Methanbildungspotenziale werden von Pflanzenarten mit geringen Lignin- und Cellulosegehalten zur Ernte erzielt. Neben Silierbarkeit und Methanbildungspotenzial entscheiden vor allem der erzielbare Flächenertrag sowie die Einordnung in Fruchtfolge und Anbausystem über die Nutzung einer Pflanzenart für die Biogasproduktion.

Die erzielten Ergebnisse können sowohl wirtschaftlich als auch wissenschaftlich verwertet werden. Für die Praxis ergeben sich betriebswirtschaftliche und verfahrenstechnische Vorteile. Die Biogasproduktion und die Qualität des gesamten Prozesses können aufgrund der Erkenntnisse bzgl. geeigneter Pflanzenarten, Fruchtfolgen und der optimalen Konservierung und Lagerung verbessert werden. Weiterhin ergeben sich mit dem vielfältigen Anbau von unterschiedlich verwertbaren Gütern eine Risikostreuung und eine Einkommensstabilisierung.

II.4 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Der Einsatz von Silierzusätzen gewinnt erneut an Aktualität, denn z.Z. drängen neue Siliermittel, z.B. biologische Präparate auf Basis homo- und heterofermentativer Starterkulturen auf den Markt, die speziell für die Konservierung von Biogaspflanzen entwickelt worden sind und aufgrund eines beeinflussten Gärsäuremusters zu höheren Biogasausbeuten führen sollen (FRITZ & NELLES 2006; THAYSEN et al. 2008). Aus dem Bereich der Tierfütterbereitstellung wird die positive Wirkung der Essigsäure auf die aerobe Lagerstabilität in der Literatur bereits vielfach beschrieben. Der Zusammenhang zwischen der „aeroben Stabilität“ von Silagen und dem Biogaspotenzial soll deshalb in der 2. Verbundphase einen Schwerpunkt im Versuchsprogramm des TP4 bilden.

In diesem Zusammenhang hat Weissbach (WEIßBACH 2008, WEIßBACH & STRUBELT, 2008 a, b). neue Korrekturen der Trockenmassegehalte von Mais- und Grassilagen vorgeschlagen. Ob sich hier möglicherweise neue Korrekturen der Ergebnisse als notwendig erweisen, kann nur in zukünftigen, umfangreichen Untersuchungen geklärt werden.

II.5 Literaturverzeichnis

- Badger D.M., Bogue M.J., Stewart D.J. (1979). Biogas production from crops and organic wastes. *New Zealand Journal of Science*, Vol. 22, 11-20.
- Banemann D., Engler N., Fritz T., Nelles M. (2008). Auswirkungen der Nacherwärmung von Energiesilagen auf die Biogasausbeute. Tagungsbeitrag zum Biogas 2008 Innovationskongress, 12.-13.06.2008, Osnabrück, Deutschland, 3 S.
- Baxter H.D., Owen J.R., Waldo D.R. (1966). Effect of Laceration of Chopped Forage on Preservation and Feeding Value of Alfalfa-Orchardgrass Silage. *Journal of Dairy Science* Vol. 49, Nr. 11, 1441-1445.
- Block, H. J.; Weißbach, F. (1982): Zur gaschromatographischen Bestimmung flüchtiger Fettsäuren in Silagen mit innerem Standard. *Archiv für Tierernährung* 32 (9): 693-702.
- Buxton D.R., O'Kiely P. (2003). Preharvest Plant Factors Affecting Ensiling. In: Al-Amoodi, L., Barbarick, K.A., Volenec, J.J., Dick, W.A. (ed.). *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin, USA: No. 42 in the series Agronomy; American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., 251-303.
- DLG [Hrsg.] (2000): DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit. DLG-Verlag.
- DLG-Schlüssel (2006): Grobfutterbewertung; Teil B: DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchungen. Hrsg. DLG e.V., Ausschuss Futterkonservierung, DLG-Information 2/2006, 5 S.
- Egg, R.P., Coble, C.G., Engler, C.R., Lewis, D.H. (1993). Feedstock Storage, Handling and Processing. *Biomass and Bioenergy* 5 (1), 71-94.
- FNR (Hrsg.) (2008). Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Gülzow, 80 S.
- Fritz, T.; Nelles, M. (2006): „Siliermittel kann Gasertrag steigern“; *energie pflanzen IV/2006*, S. 30
- Giardini A., Gaspari F., Vecchiattini M., Schenoni P. (1976). Effect of Maize Silage Harvest Stage on Yield, Plant Composition and Fermentation Losses. *Animal Feed Science and Technology* 1 (1976), 313-326.
- Kalzendorf C. (2006). Siliermittelarten und ihre Wirkungsweisen. In: Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (Hrsg.): *Praxishandbuch Futterkonservierung*. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 155-162.
- Lehtomäki A. (2006). Biogas production from Energy Crops and Crop residues. Dissertation, University of Jyväskylä, 91 S., verfügbar unter <http://dissertations.jyu.fi/studbiol/9513925595.pdf>, Zugang am 07.05.2007.
- Linke B., Mähner P., Heiermann M., Mumme J. (2006). Grundlagen und Verfahren der Biogasgewinnung. In: *Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg*. 3. überarbeitete Auflage, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.), Potsdam, 13-25.
- McDonald P., Henderson A.R., Heron S.J.E. (1991). *The Biochemistry of Silage*. 2nd Edition. Chalcombe Publications, Marlow, England, 341 S.
- Meier U., Bleiholder H. (2006). BBCH Skala. Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen, einschließlich Blattgemüse und Unkräuter. Agrimedia GmbH, Bergen, 68 S.
- Muck R.E., Moser L.E., Pitt R.E. (2003). Postharvest Factors Affecting Ensiling. In: Al-Amoodi, L., Barbarick, K.A., Volenec, J.J., Dick, W.A. (ed.). *Silage Science and Technology*. Madison, Wisconsin, USA: No. 42 in the series Agronomy; American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., 251-303.
- Neureiter M., dos Santos J.T.P., Lopez C.P., Pichler H., Kirchmayr R., Braun R. (2005). Effect of silage preparation on methane yields from whole crop maize silages. In: Ahring, B. K. & Hartmann, H. (eds), *Proceedings of the 4th Int. Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, Copenhagen/Denmark, Vol. 1, 109-115.
- Oechsner H., Lemmer A. (2009). Wie lässt sich die Effizienz einer Biogasanlage steigern? 18. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V., 03.-05.02.2009, Hannover, 113-120.
- Pahlow G. (2006). Gärbiologische Grundlagen und biochemische Prozesse der Silagebereitung. In: *Praxishandbuch Futterkonservierung*. 7. überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 11-20.
- Steinhöfel O., Thaysen J. (2006). Silagen aus Getreideganzpflanzen. In: Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (Hrsg.): *Praxishandbuch Futterkonservierung*. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 109-113.
- Thaysen J., Wagner A. (2006). Allgemeine Grundsätze der Silierung. In: *Praxishandbuch Futterkonservierung*. 7. überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 51-65.
- Thaysen, J., Banemann, D., Junge, R. (2008): Siliermittel zur Steigerung der Methanausbeute – Ergebnisse aus Batchversuchen und Praxiseinsätzen. Deutsches Maiskomitee e.V. (Hrsg.): *Tagungsband – Tagung des Ausschusses Futterkonservierung und Fütterung*. 12./13. März 2008, Futterkamp/Deutschland, S. 10-11.
- VDI 4630 (2006): Vergärung organischer Stoffe; Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag GmbH, D-10772 Berlin.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): *VDLUFA-Methodenbuch Band III „Die chemische Untersuchung von Futtermitteln“*, 3. Auflage 1997.
- Weiland P. (2001). Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. *VDI-Berichte* Nr. 1620, 19-32.
- Weißbach, F. (1967): Die Bestimmung der Pufferkapazität der Futterpflanzen und ihre Bedeutung für die Beurteilung der Vergärbarkeit. *Tagungsbericht, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR* 92: 211-220.
- Weissbach, F.; Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter. *Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur*. *Übersicht Tierernährung* 23, 189-214.

- Weißbach, F. (2008): Zur Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für die Biogasgewinnung) In: Deutsches Maiskomitee e.V. [Hrsg.] Tagungsband der Tagung vom 12. bis 13. März 2008 in Futterkamp., S. 12-13.
- Weißbach, F.; Strubelt, C. (2008a): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen, Landtechnik 63 (2) S. 82-83.
- Weißbach, F.; Strubelt, C. (2008b): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Grasssilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63 (4), S. 210-211.
- Weiß D., Brückner C. (2008). Aufbereitung landwirtschaftlicher Biomasse für den Vergärungsprozess. SLL (Hrsg.): Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 19/2008, 100 S.
- Zacharias H., Plöchl M., Herrmann C., Heiermann M., Auerbach H. (2008). Welche Siliermittel für Biogassilage? Neue Landwirtschaft 8, S. 85-87.
- Zimmer E. (1967). Der Einfluß der mechanischen Aufbereitung auf die Silierfähigkeit von Halmfutter. Grundlagen Landtechnik, Bd. 17, Nr. 6, S. 197-202.

II.6 Projektbezogene Publikationen

- HERRMANN, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M.; SCHOLZ, V. (2009): Einfluss der Silierung auf die Biogasbildung – Aktuelle Forschungsergebnisse. 18. Jahrestagung Fachverband Biogas e.V. „Biogas: dezentral erzeugen, regional profitieren, international gewinnen“, 03.-05.02.2009, Hannover, S. 27-35. (+ Vortrag)
- VETTER, A.; STRAUSS, C.; HEIERMANN, M. (2008): Neues vom EVA-Verbundprojekt. Biogas Journal, 11(3), S. 24-27.
- FNR (Hrg.) (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, 80 S., verfügbar unter www.fnr.de, Zugang am 02.09.2008.
- IDLER, C.; HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; SCHOLZ, V. (2008): Einfluss der Silierung auf die Methanausbeuten von Energiepflanzen. "Erhöhte Biomassenachfrage - eine neue Herausforderung für die Landwirtschaft. 120. VDLUFA-Kongress, 16-19. September 2008, Jena, Kurzfassungen der Referate, S. 49. (+ Poster)
- IDLER, C.; HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; SCHOLZ, V. (2008): Einfluss der Silierung auf die Methanausbeuten von Energiepflanzen. "Erhöhte Biomassenachfrage - eine neue Herausforderung für die Landwirtschaft. 120. VDLUFA-Kongress, 16-19. September 2008, Jena, VDLUFA Schriftenreihe 64, im Druck.
- HERRMANN C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M.; SCHOLZ, V. (2008): Influence of ensiling parameters on the methane yield of various biogas crops. Proceedings of the International Conference "Biosystems Engineering and Processes in Agriculture". 13th International Conference "Biosystems Engineering and Processes in Agriculture", Kaunas, 25.-26.09.2008, Academia Scientiarum Lithuaniae, Raudondvaris, 2008, (ISSN 1822-2706), S. 86-90. (+ Vortrag)
- HERRMANN C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2008): Biogas crops – Impact of supply chain and feedstock characteristics on methane yield. International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition, 23-25 June 2008, Hersonissos, Crete (Greece), CD-version 1127350; 20 p. (+ Vortrag)
- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Fortschritte in der Bewertung der Einflussfaktoren auf die Substratqualität und Biogasausbeuten. 26. Fachtagung LVLV "Perspektiven der Nutzung von Biomasse als Gärsubstrate unter den Standortbedingungen des Landes Brandenburg", 22.11.2007 in Bresch (Prignitz), S. 23-29. (+ Vortrag)
- HEIERMANN, M.; HERRMANN, C.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Optimisation potential of the supply of crops as feedstock for biogas production (Optimalizační potenciály přípravy rostlinných substrátů pro výrobu bioplynu). Konference „Zemědělská technika a biomasa“, 20.11.2007, Praha, CR, (CD-Version ISBN 978-80-86884-24-0) p. 42-50. (+ Vortrag)
- ADAM, L.; EBEL, G.; HEIERMANN, M. (2007): Rohstoffe für die Biogasanlage. Neue Landwirtschaft, Heft 6, S. 64-66.
- HEIERMANN, M.; HERRMANN, C.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Biogas crops: parameters affecting gas yield, In: Proceedings, 5th Research and Development Conference of Central- and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering, 20-21 June 2007, Kiev, Ukraine, p. 77-85. (+ Poster)
- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Einfluss der Silierung auf die Biogasbildung - Aktuelle Forschungsergebnisse (Impact of ensiling process on biogas production – recent research results). In: Tagungsband „Energiepflanzen im Aufwind – Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz“, 12./13. Juni 2007, Potsdam. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 61, S. 86-99. (+ Vortrag)
- HEIERMANN, M.; GÖDEKE, K. (2007): Optimized growth and preservation of energy crop. In: Proceedings, 15th European Biomass Conference & Exhibition "From Research to Market Deployment", Workshop "Biogas: Energy throughout the whole world", 7-11 May 2007, Berlin, Germany, WS2.2, 1-16. (+ Vortrag)
- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Parameters influencing substrate quality and biogas yield. In: Maniatis, K. et al. (eds.): Proceedings, 15th European Biomass Conference & Exhibition "From Research to Market Deployment", 7-11 May 2007, Berlin, Germany, 809-819. (+ Poster)
- HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; SCHOLZ, V. (2007): Einfluss von Silierung und Silagequalität auf die Biogasbildung - Influence of Ensiling Process and Silage Quality on Biogas Yield. In: Book of Abstracts, "Energy Farming Conference, 13.-15.03.2007, Papenburg, Germany, 3 p. (+ Poster)

II.7 Übersicht des Anhangsverzeichnisses

- Tab. A1:** Chemische Zusammensetzung der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007
- Tab. A2:** Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007
- Tab. A3:** Gärsäuremuster, Fermentationsverluste und Gärqualitäten verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen
- Tab. A4:** Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen
- Tab. A5:** Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen
- Tab. A6:** Gärsäuremuster, Fermentationsverluste und Gärqualitäten der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime
- Tab. A7:** Chemische Zusammensetzung der Silagen der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime
- Tab. A8:** Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime
- Tab. A9:** Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten mit unterschiedlichen Silierzusätzen
- Tab. A10:** Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten mit unterschiedlichen Silierzusätzen
- Tab. A11:** Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten bei unterschiedlichen Silierdauer
- Tab. A12:** Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten bei unterschiedlicher Silierdauer
- Tab. A13:** Ergebnisse der Bonituren und Messung in den Pflanzenbeständen, Betrieb K
- Tab. A14:** Ergebnisse der Bonituren und Messung in den Pflanzenbeständen, Betrieb M

Anhang

Tab. A1: Chemische Zusammensetzung der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007

Pflanzenart Jahr (Herkunft)	BBCH	n	TM	XA	XP	XL	XF	NfE	NDF	ADF	ADL
			[%]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]
Wintertriticale, Winterraps 2006 (BB)	k.A.	1	28,8	6,1	10,8	4,4	29,7	49,0	47,8	30,6	4,0
Grünschnittroggen 2006 (BB, S, TH) 2007 (BB, S)	45-59	3	20,2	9,2	13,5	3,8	33,6	39,9	54,6	34,1	3,1
	59	2	24,7	8,6	9,4	2,7	36,7	42,7	54,8	36,5	4,5
Wintertriticale 2006 (BB, S, TH) 2007 (BB, S)	77-83	3	45,3	4,3	9,1	3,0	28,9	54,8	53,5	30,0	5,2
	77-83	3	30,3	5,4	10,9	2,6	29,9	51,2	47,2	29,2	4,8
Mais 2005 (BB, BW, NDS, S, TH) 2006 (BB, BW, NDS, S, TH) 2007 (BB, BW, S)	75-85	8	28,4	4,2	7,7	1,7	22,3	64,1	47,6	26,6	3,1
	83-87	10	30,5	4,5	9,4	2,6	21,1	62,4	39,0	23,9	3,9
	83-85	5	26,5	4,3	7,6	2,7	24,1	61,3	41,7	26,1	3,7
Sommergerste 2005 Grünschnitt (BW) 2005 (NDS, TH) 2006 (BW)	58	1	40,4	6,6	9,3	2,3	22,8	59,0	49,7	28,6	4,6
	83-85	2	47,0	3,3	6,7	2,3	22,9	64,8	62,5	27,9	5,4
	83	1	41,2	7,0	12,2	3,8	22,4	54,7	46,2	23,4	3,3
Futterhirse 2006 (NDS)	73	1	23,1	5,4	8,8	2,4	30,3	53,1	48,6	31,1	5,8
Zuckerhirse 2005 (BW) 2006 (BW)	82	1	24,7	5,9	7,7	0,3	29,6	56,5	58,3	38,0	5,9
	85	1	23,1	6,4	7,1	1,3	32,5	52,6	50,9	35,9	6,8
Sudangras 2005 (BW, S, TH) 2005 2. Aufwuchs (BW) 2006 (BW, BB, S) 2007 (S, BB)	80-85	3	25,0	4,8	7,7	0,9	29,6	57,0	59,2	38,2	6,9
	51-55	1	17,9	7,3	11,1	2,6	30,7	48,4	54,7	32,4	3,1
	65-83	5	26,7	6,1	9,6	2,0	30,3	52,1	51,1	32,5	5,6
	83	2	24,3	4,9	8,0	1,7	28,4	57,0	50,4	33,6	6,0
Sommerroggen 2005 (BB, S) 2006 (BB, S)	83-85	2	41,1	4,6	8,3	2,0	32,8	52,5	60,1	38,3	7,3
	83	2	52,2	4,8	8,9	2,6	36,2	47,5	62,2	37,7	8,2
Hafer 2005 Grünschnitt (BW) 2005 (NDS, S) 2006 (S, TH)	59	1	37,0	8,2	9,4	2,8	29,2	50,4	52,0	32,4	5,2
	83-85	2	45,7	7,6	9,7	3,2	28,0	51,5	55,5	33,6	6,8
	77-83	2	40,1	7,8	9,4	3,7	31,8	47,3	59,2	35,6	5,3
Luzerngras 2005 (BW) 2006 (BW, S, TH) 2007 (BW)	60	1	21,9	13,8	11,9	2,1	26,6	45,6	49,7	39,5	10,0
	41-60	3	19,3	10,0	15,8	2,7	31,4	40,1	44,5	34,7	5,2
	60-61	2	18,6	11,2	17,1	4,0	35,1	32,7	44,1	37,7	7,6
Hafer, Erbse, Lein-dotter 2005 (BB)	77/83/ 85	1	40,3	5,6	9,8	3,7	32,8	47,9	60,1	38,2	7,4
Sonnenblume 2005 (BW) 2006 (BW, BB)	83	1	18,8	11,9	8,4	7,2	30,0	42,5	44,9	40,0	10,6
	83	2	20,7	15,1	9,9	8,7	22,3	43,9	31,9	39,0	9,0
Ölrettich 2005 (BB, BW, S, TH)	51-72	5	11,5	19,2	14,9	2,6	21,3	42,0	31,0	34,7	4,3
Alant 2005 (BB)	61	1	25,2	8,6	7,8	2,6	33,1	48,0	50,8	45,2	9,4
Sommerraps 2006 (S)	83	1	27,6	10,3	9,9	4,7	40,7	34,4	53,4	51,2	11,4
Wechseltriticale 2005 (BW)	30-32	1	16,3	27,4	16,7	2,1	18,2	35,6	29,6	22,8	3,8
Resede 2005 (BB)	75	1	26,1	8,2	11,7	3,4	36,2	40,4	51,8	44,9	12,6

Fortsetzung Tab. A1: Chemische Zusammensetzung der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007

Pflanzenart Jahr (Herkunft)	BBCH	n	TM	XA	XP	XL	XF	NfE	NDF	ADF	ADL
			[%] TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	
Topinamburkraut											
2005 (BB, TH)	59-61	2	25,7	8,4	7,7	0,9	30,6	52,4	43,7	40,6	9,5
2006 (BB)	55-59	1	34,4	10,6	12,4	2,7	28,9	45,4	41,7	40,3	13,2
2007 (BB)	39	1	26,8	12,8	8,4	2,0	28,7	48,1	38,4	46,7	12,2
Miscanthus											
2006 (S)	(33)	2	35,4	5,1	5,3	1,4	46,3	42,0	76,8	54,5	14,6
2007 (S)	(77)	2	32,5	6,6	4,2	1,4	48,1	39,7	75,6	56,2	13,2

XA... Rohasche, XP... Rohprotein, XL... Rohfett, XF... Rohfaser, NfE... Stickstofffreie Extraktstoffe

Tab. A2: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007

Pflanzenart Jahr (Herkunft)	BBCH	n	Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ FM]			Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ oTM]			Methangehalt [Vol-%]		
			MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	Min	Max
Wintertriticale, Winterraps 2006 (BB)	k.A.	1	176	-	-	652	-	-	60	-	-
Grünschnittroggen 2006 (BB, S, TH) 2007 (BB, S)	45-59	3	162	94	291	614	587	635	60	58	61
	59	2	157	137	176	698	643	752	60	57	63
Wintertriticale 2006 (BB, S, TH) 2007 (BB, S)	77-83	3	260	231	294	606	591	618	55	54	57
	77-83	3	193	159	214	672	598	725	57	57	57
Mais 2005 (BB, BW, NDS, S, TH) 2006 (BB, BW, NDS, S, TH) 2007 (BB, BW, S)	75-85	8	166	142	184	604	569	640	54	53	55
	83-87	10	180	159	228	621	580	651	55	54	56
	83-85	5	167	140	205	662	625	704	58	57	58
Sommergerste 2005 Grünschnitt (BW) 2005 (NDS, TH) 2006 (BW)	58	1	201	-	-	508	-	-	54	-	-
	83-85	2	246	198	294	558	518	598	55	54	55
	83	1	183	-	-	627	-	-	56	-	-
Futterhirse 2006 (NDS)	73	1	122	-	-	559	-	-	58	-	-
Zuckerhirse 2005 (BW) 2006 (BW)	82	1	110	-	-	539	-	-	57	-	-
	85	1	121	-	-	559	-	-	59	-	-
Sudangras 2005 (BW, S, TH) 2005 2. Aufwuchs (BW) 2006 (BW, BB, S) 2007 (S, BB)	80-85	3	114	106	119	481	459	497	57	54	58
	51-55	1	92	-	-	552	-	-	58	-	-
	65-83	5	142	127	157	571	551	564	56	54	58
	83	2	136	136	137	586	581	592	58	58	59
Sommerroggen 2005 (BB, S) 2006 (BB, S)	83-85	2	209	193	224	531	516	544	55	54	56
	83	2	274	252	296	555	544	565	55	54	56
Hafer 2005 Grünschnitt (BW) 2005 (NDS, S) 2006 (S, TH)	59	1	193	-	-	534	-	-	55	-	-
	83-85	2	211	177	245	507	478	536	55	55	55
	77-83	2	205	182	229	548	540	556	56	55	57
Luzernegras 2005 (BW) 2006 (BW, S, TH) 2007 (BW)	60	1	83	-	-	442	-	-	62	-	-
	41-60	3	89	88	91	519	501	544	63	62	63
	60-61	2	87	76	98	523	507	539	59	59	60
Hafer, Erbse, Leindotter 2005	77/83/ 85	1	185	-	-	501	-	-	58	-	-
Sonnenblume 2005 (BW) 2006 (BW, BB)	83	1	67	-	-	433	-	-	63	-	-
	83	2	95	68	121	525	456	595	51	50	51
Ölrettich 2005 (BB, BW, S, TH)	51-72	5	47	32	62	487	453	539	59	55	62
Alant 2005 (BB)	61	1	105	-	-	443	-	-	57	-	-
Sommerraps 2006 (S)	83	1	106	-	-	435	-	-	63	-	-
Wechseltriticale 2005 (BW)	30-32	1	51	-	-	434	-	-	62	-	-
Resede 2005 (BB)	75	1	105	-	-	433	-	-	59	-	-

Fortsetzung Tab. A2: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen untersuchter Pflanzenarten und Mischungen der Erntejahre 2005 bis 2007

Pflanzenart Jahr (Herkunft)	BBCH	n	Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ FM]			Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ oTM]			Methangehalt [Vol-%]		
			MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	Min	Max
Topinamburkraut 2005 (BB, TH)	59-61	2	98	92	104	419	409	429	54	53	55
2006 (BB)	55-59	1	132	-	-	420	-	-	52	-	-
2007 (BB)	39	1	109	-	-	468	-	-	54	-	-
Miscanthus 2006 (S)	(33)	2	110	105	116	332	303	361	61	61	62
2007 (S)	(77)	2	123	117	129	407	402	412	61	61	61
Kugeldistel 2005 (TH)	k.A.	1	154	-	-	398	-	-	60	-	-
Durchwachsene Sylphie 2006 (TH)	k.A.	1	85	-	-	351	-	-	56	-	-

Tab. A3: Gär säuremuster, Fermentationsverluste und Gärqualitäten verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen

Pflanzenart, (Sorte), Jahr	Ernte	TM	pH-	MS ²⁾	ES ³⁾	BS ⁴⁾	Alko-	TM-	Gär-
		[%]	Wert	[% TM]	[% TM]	[% TM]	hole ³⁾	Verlust	qualität
							[% TM]	[%]	[DLG- Punkte]
Mais, (Monu- mental), 2005	1. Ernte	15,2	3,1	7,8	3,6	0,1	0,2	6,9	83
	2. Ernte	27,7	3,2	5,5	1,7	n.n.	0,6	3,1	100
Mais, (Fiacre), 2005	1. Ernte	29,8	3,3	5,0	1,7	n.n.	1,0	6,5	100
	2. Ernte	30,4	3,1	5,6	0,8	n.n.	1,2	3,6	100
Mais, (Montori), 2005	1. Ernte	29,0	3,2	5,4	0,3	n.n.	0,9	3,8	100
	2. Ernte	30,1	3,2	4,8	1,1	n.n.	0,4	2,4	100
Mais, (Monu- mental), 2006	1. Ernte	24,1	3,8	7,6	1,9	n.n.	3,1	6,3	100
	2. Ernte	27,5	3,8	6,8	1,5	n.n.	3,4	5,2	100
Mais, Apostrof, 2006	1. Ernte	30,5	3,7	5,6	1,6	n.n.	0,8	3,8	100
	2. Ernte	37,1	3,8	5,1	0,9	n.n.	0,5	1,7	100
Mais, Monu- mental), 2007	1. Ernte	29,2	3,7	4,8	0,8	n.n.	0,7	2,6	100
	2. Ernte	32,0	3,8	4,4	1,0	n.n.	1,8	3,6	100
Mais, Apostrof, 2007	1. Ernte	30,7	3,7	5,1	0,9	0,1	1,0	5,8	100
	2. Ernte	31,0	3,8	4,2	1,0	n.n.	2,0	2,5	100
Sudangras, 2005	1. Ernte	16,9	3,4	8,5	1,6	n.n.	0,7	3,7	100
	2. Ernte	24,7	3,2	6,8	0,3	n.n.	1,6	4,4	100
Sudangras, 2006	1. Ernte	26,2	3,8	7,3	1,8	n.n.	3,2	4,1	100
	2. Ernte	28,9	3,8	6,6	2,1	0,1	3,0	4,5	100
Sudangras, 2007	1. Ernte	23,3	3,8	6,8	1,6	n.n.	3,3	2,3	100
	2. Ernte	24,7	3,8	7,1	1,4	n.n.	2,5	1,3	100
Zuckerhirse, 2005	1. Ernte	21,3	3,2	7,5	1,9	0,1	0,8	5,6	100
	2. Ernte	21,5	3,1	7,8	0,0	n.n.	0,7	4,4	100
Sonnenblume, Alisson, 2005	1. Ernte	17,3	3,6	8,2	2,2	n.n.	1,2	4,9	100
	2. Ernte	18,8	4,6	4,3	2,9	1,1	0,5	5,8	62
Sonnenblume, Pegasol, 2006	1. Ernte	21,7	4,2	6,0	2,7	n.n.	0,5	6,2	95
	2. Ernte	23,2	4,2	5,9	1,8	n.n.	0,4	3,5	93
Grünschnittrog- gen, 2006 ¹⁾	1. Ernte	21,8	4,2	8,5	0,8	n.n.	0,3	3,4	95
	2. Ernte	24,3	5,2	1,6	2,7	n.n.	1,1	11,1	75
Grünschnittrog- gen, 2007 ¹⁾	1. Ernte	21,6	4,0	7,5	1,6	n.n.	0,6	3,5	100
	2. Ernte	29,0	4,1	4,7	1,4	n.n.	0,5	5,3	98
Sommerroggen, 2005	1. Ernte	38,4	4,6	2,1	0,5	1,5	1,0	10,0	47
	2. Ernte	38,9	4,2	2,6	0,8	2,6	1,6	7,3	34
Sommerroggen, 2006	1. Ernte	37,4	4,5	1,2	1,4	n.n.	0,2	3,7	100
	2. Ernte	47,4	5,0	2,1	0,6	n.n.	0,3	4,1	97
Sommergerste, 2005	1. Ernte	35,2	4,2	5,4	0,6	0,7	0,6	9,2	80
	2. Ernte	40,4	3,6	4,4	1,5	n.n.	0,6	2,6	100
Hafer, 2005	1. Ernte	34,4	4,1	5,4	0,7	0,4	0,3	8,5	87
	2. Ernte	37,1	3,7	6,2	1,5	n.n.	0,3	4,2	100
Wintertriticale, 2006	1. Ernte	36,7	4,3	4,1	1,8	n.n.	0,3	5,8	100
	2. Ernte	52,8	5,0	2,3	0,3	0,1	1,4	7,4	98
Wintertriticale, 2007	1. Ernte	27,4	3,9	6,1	1,1	n.n.	0,7	5,4	100
	2. Ernte	27,9	3,8	6,6	0,8	n.n.	1,2	5,3	100
Topinambur- kraut, 2005	1. Ernte	14,3	3,9	9,6	1,8	n.n.	0,4	5,0	97
	2. Ernte	26,3	3,6	5,3	0,6	n.n.	0,4	3,8	100
Topinambur- kraut, 2006	1. Ernte	41,3	4,3	6,3	1,4	n.n.	0,3	2,2	100
	2. Ernte	34,4	4,1	7,8	1,9	n.n.	0,7	0,8	100
Topinambur- kraut, 2007	1. Ernte	25,6	3,9	7,5	1,3	n.n.	0,2	4,0	100
	2. Ernte	26,8	4,0	7,5	1,0	n.n.	0,3	2,4	100

¹⁾ angewelkt; ²⁾ Summe aus Essig- und Propionsäure; ³⁾ Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ⁴⁾ Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Tab. A4: Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen

Pflanzenart, (Sorte), Jahr	Ernte	XA	XP	XL	XF	NfE	NDF	ADF	ADL
		[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]
Mais, (Fiacre), 2005	1. Ernte	4,0	8,1	1,2	20,6	66,1	45,9	25,4	3,7
	2. Ernte	4,1	7,5	1,2	22,2	65,0	50,0	26,8	3,7
Mais, (Montori), 2005	1. Ernte	4,0	6,7	1,1	22,4	65,8	48,6	28,7	3,5
	2. Ernte	3,6	6,2	2,6	22,3	65,3	47,4	27,2	3,4
Mais, (Monu- mental), 2005	1. Ernte	5,8	12,1	1,0	27,3	53,8	53,5	37,1	5,5
	2. Ernte	3,9	8,6	1,5	19,7	66,3	43,4	23,9	2,5
Mais, (Monu- mental), 2006	1. Ernte	6,3	10,7	2,5	21,4	59,1	42,9	23,8	3,0
	2. Ernte	4,2	10,6	2,8	19,6	62,8	38,9	22,6	4,0
Mais, Monu- mental), 2007	1. Ernte	3,9	6,7	2,9	23,6	62,9	40,5	25,7	3,2
	2. Ernte	3,6	6,6	3,3	21,2	65,3	40,6	25,6	4,1
Mais, Apostrof, 2006	1. Ernte	4,0	10,1	3,4	18,4	64,1	40,5	20,6	3,0
	2. Ernte	4,1	9,2	3,5	18,4	64,8	38,9	17,9	2,0
Mais, Apostrof, 2007	1. Ernte	4,1	6,7	3,1	22,6	63,5	42,0	25,1	3,0
	2. Ernte	4,0	6,6	3,3	29,3	56,8	39,3	24,1	3,1
Sudangras, 2005	1. Ernte	7,3	11,0	1,3	34,1	46,3	60,7	42,3	6,8
	2. Ernte	4,8	6,8	0,5	30,9	57,0	59,9	39,3	6,9
Sudangras, 2006	1. Ernte	5,4	9,3	1,6	30,5	53,2	49,1	30,7	5,5
	2. Ernte	4,7	8,6	1,6	28,1	57,0	49,0	30,7	4,5
Sudangras, 2007	1. Ernte	4,6	7,8	1,6	31,1	54,9	53,2	35,0	5,6
	2. Ernte	5,1	8,0	1,8	28,2	56,9	49,7	33,5	5,9
Zuckerhirse, 2005	1. Ernte	6,7	9,1	0,5	29,5	54,2	55,9	36,1	6,5
	2. Ernte	5,9	7,7	0,3	29,6	56,5	58,3	38,1	5,9
Sonnenblume, Alisson, 2005	1. Ernte	11,7	8,7	4,1	29,7	45,8	45,3	43,2	11,1
	2. Ernte	11,9	8,4	7,2	30,0	42,5	44,9	40,0	10,6
Sonnenblume, Pegasol, 2006	1. Ernte	9,5	11,4	4,7	19,8	54,6	31,0	33,5	8,5
	2. Ernte	11,4	10,7	11,9	20,1	45,9	30,0	36,8	9,8
Grünschnittrog- gen, 2006 ¹⁾	1. Ernte	8,4	14,7	1,9	30,8	44,2	49,4	30,3	2,5
	2. Ernte	7,9	10,4	2,6	37,5	41,6	47,2	29,3	2,0
Grünschnittrog- gen, 2007 ¹⁾	1. Ernte	10,0	13,8	2,6	31,5	42,1	45,6	32,1	3,8
	2. Ernte	7,1	10,4	2,4	35,2	44,9	52,6	34,3	4,5
Sommerroggen, 2005	1. Ernte	5,0	6,8	2,4	36,7	49,1	66,0	43,6	7,5
	2. Ernte	4,3	6,6	1,6	34,5	53,0	63,8	40,0	6,9
Sommerroggen, 2006	1. Ernte	5,2	11,5	3,1	33,5	46,7	56,9	34,9	5,8
	2. Ernte	4,5	10,0	3,4	36,3	45,8	60,6	36,6	9,8
Sommergerste, 2005	1. Ernte	7,7	11,2	5,4	47,7	28,0	54,1	33,6	5,4
	2. Ernte	6,5	9,3	2,3	59,1	22,8	49,7	28,6	4,6
Hafer, 2005	1. Ernte	8,2	9,4	2,8	50,4	29,2	59,1	39,0	6,0
	2. Ernte	7,6	9,4	2,5	54,6	25,6	52,0	32,4	5,2
Wintertriticale, 2006	1. Ernte	4,0	9,8	2,2	30,6	53,4	54,0	30,6	5,2
	2. Ernte	4,4	9,1	3,0	30,2	53,3	56,8	32,5	6,4
Wintertriticale, 2007	1. Ernte	5,4	11,7	2,7	32,7	47,5	50,9	32,0	4,8
	2. Ernte	5,8	12,2	2,5	32,6	46,9	49,5	31,7	5,7
Topinambur- kraut, 2005	1. Ernte	12,4	15,0	0,9	23,4	48,3	37,6	35,3	10,2
	2. Ernte	8,4	7,7	0,9	30,6	52,4	43,7	40,6	9,5
Topinambur- kraut, 2006	1. Ernte	10,6	11,8	3,3	30,6	43,7	49,8	44,5	17,1
	2. Ernte	10,6	12,4	2,7	28,9	45,4	41,7	40,3	13,2
Topinambur- kraut, 2007	1. Ernte	9,8	8,3	1,8	27,5	52,6	43,3	41,7	10,9
	2. Ernte	12,8	8,4	2,0	28,7	48,1	38,4	46,7	12,2

¹⁾ angewelkt; XA... Rohasche, XP... Rohprotein, XL... Rohfett, XF... Rohfaser, NfE... Stickstofffreie Extraktstoffe

Tab. A5: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten zu jeweils zwei Ernteterminen

Pflanzenart, (Sorte), Jahr	Ernte	Biogasausbeute	Biogasausbeute	Methangehalt
		[N*kg ⁻¹ FM]	[N*kg ⁻¹ oTM]	[Vol-%]
Mais, (Fiacre), 2005	1. Ernte	169	593	54
	2. Ernte	174	583	54
Mais, (Montori), 2005	1. Ernte	180	648	54
	2. Ernte	184	640	54
Mais, (Monumental), 2005	1. Ernte	88	628	55
	2. Ernte	168	623	53
Mais, (Monumental), 2006	1. Ernte	142	633	54
	2. Ernte	167	645	54
Mais, (Monumental), 2007	1. Ernte	189	677	57
	2. Ernte	205	658	57
Mais, (Apostrof), 2006	1. Ernte	180	614	54
	2. Ernte	228	651	54
Mais, (Apostrof), 2007	1. Ernte	198	680	57
	2. Ernte	195	661	57
Sudangras, 2005	1. Ernte	79	506	60
	2. Ernte	106	459	58
Sudangras, 2006	1. Ernte	136	567	55
	2. Ernte	157	579	54
Sudangras, 2007	1. Ernte	134	602	59
	2. Ernte	131	581	59
Zuckerhirse, 2005	1. Ernte	98	508	56
	2. Ernte	110	539	57
Sonnenblume, (Alisson), 2005	1. Ernte	61	57	397
	2. Ernte	67	63	433
Sonnenblume, (Pegasol), 2006	1. Ernte	110	51	557
	2. Ernte	121	50	595
Grünschnittroggen, 2006 ¹⁾	1. Ernte	127	633	56
	2. Ernte	140	623	60
Grünschnittroggen, 2007 ¹⁾	1. Ernte	122	635	58
	2. Ernte	176	643	57
Sommerroggen, 2005	1. Ernte	207	568	58
	2. Ernte	193	518	56
Sommerroggen, 2006	1. Ernte	203	575	56
	2. Ernte	252	565	55
Sommergerste, 2005	1. Ernte	194	598	57
	2. Ernte	201	508	54
Hafer, 2005	1. Ernte	163	485	58
	2. Ernte	187	534	55
Wintertriticale, 2006	1. Ernte	216	610	55
	2. Ernte	294	591	55
Wintertriticale, 2007	1. Ernte	157	607	58
	2. Ernte	159	598	57
Topinamburkraut, 2005	1. Ernte	57	455	56
	2. Ernte	104	429	55
Topinamburkraut, 2006	1. Ernte	151	402	53
	2. Ernte	132	420	52
Topinamburkraut, 2007	1. Ernte	107	472	57
	2. Ernte	109	468	57

Tab. A6: Gärsäuremuster, Fermentationsverluste und Gärqualitäten der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime

Ackergrasmischung (Jahr)	TM [%]	pH-Wert	MS ¹⁾ [% TM]	ES ²⁾ [% TM]	BS ³⁾ [% TM]	Alkohole ³⁾ [% TM]	Verlust [%]	Gärqualität [DLG-Punkte]
Standort Wehnen (NDS)								
A3 (2005)								
1. Aufwuchs früh	18,0	3,7	8,8	3,3	n.n.	1,0	0,5	87
2. Aufwuchs früh	14,0	4,0	14,0	2,6	n.n.	0,7	0,6	95
A3 + Rotklee (2005)								
1. Aufwuchs früh	18,1	3,9	5,6	2,7	n.n.	0,6	0,9	100
2. Aufwuchs früh	15,7	4,0	11,5	2,4	0,2	0,6	0,6	92
A1 (2005)								
1. Aufwuchs früh	17,3	3,8	9,1	3,2	n.n.	0,8	0,5	90
2. Aufwuchs früh	15,3	4,0	14,1	2,5	n.n.	0,6	0,7	100
A3 (2006)								
1. Aufwuchs früh	14,9	3,8	7,8	2,3	n.n.	1,0	0,4	100
1. Aufwuchs spät	23,6	4,4	5,2	0,4	2,3	1,6	2,4	27
2. Aufwuchs früh	25,7	4,6	6,2	1,5	0,2	1,0	1,2	82
2. Aufwuchs spät	42,1	5,2	2,5	0,6	0,2	1,3	1,7	90
A3 + Rotklee (2006)								
1. Aufwuchs früh	15,2	3,9	6,7	2,3	n.n.	1,0	0,5	100
1. Aufwuchs spät	22,7	4,2	4,6	1,1	1,9	1,3	1,9	36
2. Aufwuchs früh	24,3	4,5	5,6	1,8	0,4	1,0	1,3	78
2. Aufwuchs spät	37,1	5,0	2,5	0,6	0,4	1,4	1,9	81
A1 (2006)								
1. Aufwuchs früh	14,9	3,7	9,3	2,7	0,1	0,9	0,6	97
1. Aufwuchs spät	20,8	3,9	8,2	2,2	0,9	1,5	1,3	70
2. Aufwuchs früh	24,2	4,3	6,4	2,0	n.n.	0,4	0,7	92
2. Aufwuchs spät	41,3	5,6	2,2	0,3	0,1	2,0	2,2	90
A3 (2007)								
1. Aufwuchs früh	28,8	4,2	7,2	2,1	0,1	0,6	0,3	95
1. Aufwuchs spät	27,5	4,6	5,0	0,7	1,0	1,3	1,7	54
2. Aufwuchs früh	29,2	4,6	3,9	0,6	2,0	1,0	2,0	27
2. Aufwuchs spät	40,1	4,7	2,7	0,7	n.n.	0,3	0,3	95
A3 + Rotklee (2007)								
1. Aufwuchs früh	29,0	4,2	7,0	1,6	0,4	0,7	0,4	86
1. Aufwuchs spät	28,2	4,5	5,8	1,0	0,6	1,2	1,4	72
2. Aufwuchs spät	38,5	4,7	2,9	0,8	n.n.	0,6	2,4	95
A1 (2007)								
1. Aufwuchs früh	31,6	4,3	6,4	1,4	0,7	0,9	0,6	76
1. Aufwuchs spät	29,4	4,6	4,4	0,9	0,8	1,0	1,4	58
2. Aufwuchs spät	40,4	4,9	2,3	0,7	n.n.	0,3	0,2	90
Standort Berge (BB)								
A3 (2006)								
1. Aufwuchs früh	35,9	5,6	2,5	0,6	n.n.	0,8	0,1	90
1. Aufwuchs spät	25,4	3,5	10,8	3,0	n.n.	0,4	6,8	93
2. Aufwuchs früh	33,0	5,1	6,1	0,6	2,5	1,0	3,0	24
2. Aufwuchs spät	46,6	5,5	0,1	0,6	0,1	0,3	1,8	92
A3 (2007)								
1. Aufwuchs früh	30,9	4,8	5,4	1,5	0,3	0,8	2,0	80
1. Aufwuchs spät	38,6	4,9	3,7	0,7	1,1	1,1	2,1	57
2. Aufwuchs früh	33,9	4,4	9,3	1,6	n.n.	0,4	1,1	100
2. Aufwuchs spät	34,7	4,4	8,1	1,9	n.n.	0,3	0,7	98

Fortsetzung Tab. A6: Gärsäuremuster, Fermentationsverluste und Gärqualitäten der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime

Standort Dornburg (TH)

A3 (2006)

1. Aufwuchs früh	25,1	4,3	7,3	2,7	n.n.	0,4	1,0	93
1. Aufwuchs spät	23,5	4,1	10,6	3,4	n.n.	0,3	0,9	85
2. Aufwuchs früh	29,3	4,5	8,2	2,5	0,1	0,6	-0,7	90
2. Aufwuchs spät	40,6	5,0	4,6	1,0	2,0	1,6	1,5	45

A3 (2007)

1. Aufwuchs früh	39,8	6,0	2,2	0,4	n.n.	3,8	2,1	90
1. Aufwuchs spät	29,7	4,4	5,1	2,1	n.n.	0,6	0,0	93
2. Aufwuchs früh	23,0	4,3	8,4	1,7	n.n.	1,3	0,9	94
2. Aufwuchs spät	28,6	4,6	8,5	1,9	n.n.	1,8	-0,2	90

¹⁾Summe aus Essig- und Propionsäure; ²⁾Summe aus i-Buttersäure, n-Buttersäure, i-Valeriansäure, n-Valeriansäure und Capronsäure; ³⁾Summe aus Ethanol und Propanol; n.n. ... nicht nachweisbar

Tab. A7: Chemische Zusammensetzung der Silagen der ersten beiden Aufwüchse von Ackergras-
mischungen mit unterschiedlichem Schnittregime

Ackergras Mischung (Jahr)	XA	XP	XL	XF	NfE	NDF	ADF	ADL
	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]
Standort Wehnen (NDS)								
A3 (2005)								
1. Aufwuchs früh	11,5	13,5	3,4	26,1	45,5	46,7	33,7	4,0
2. Aufwuchs früh	11,8	12,9	3,0	23,3	49,0	40,4	28,2	1,8
A3 + Rotklee (2005)								
1. Aufwuchs früh	11,4	12,9	2,6	23,9	49,2	45,3	34,9	4,2
2. Aufwuchs früh	11,8	11,8	2,8	21,8	51,8	40,9	26,0	1,6
A1 (2005)								
1. Aufwuchs früh	11,9	14,6	3,4	24,9	45,2	44,2	33,7	3,1
2. Aufwuchs früh	11,1	12,7	3,0	22,1	51,1	39,6	26,2	2,1
A3 (2006)								
1. Aufwuchs früh	10,3	13,8	2,1	24,5	49,3	39,4	25,3	1,4
1. Aufwuchs spät	9,5	10,4	2,5	31,9	45,7	53,2	33,3	3,0
2. Aufwuchs früh	10,3	15,0	4,7	26,5	43,5	44,2	30,4	3,8
2. Aufwuchs spät	8,0	11,5	2,9	35,3	42,3	54,2	37,5	13,0
A3 + Rotklee (2006)								
1. Aufwuchs früh	9,6	11,1	2,6	25,8	50,9	40,9	25,4	1,6
1. Aufwuchs spät	8,7	9,3	2,5	30,6	48,9	51,0	31,6	3,3
2. Aufwuchs früh	10,7	13,3	4,2	25,7	46,1	41,6	27,0	2,8
2. Aufwuchs spät	8,3	11,7	3,2	33,3	43,5	54,7	36,2	13,8
A1 (2006)								
1. Aufwuchs früh	9,9	12,9	2,7	26,2	48,3	41,3	25,7	1,6
1. Aufwuchs spät	8,8	9,5	2,4	31,0	48,3	49,8	31,5	3,2
2. Aufwuchs früh	9,8	14,7	4,6	27,0	43,9	43,2	28,9	3,5
2. Aufwuchs spät	8,1	10,3	2,8	34,3	44,5	56,2	38,9	8,6
A3 (2007)								
1. Aufwuchs früh	9,6	13,8	3,6	25,9	47,1	36,8	23,8	2,9
1. Aufwuchs spät	10,2	13,4	3,7	30,2	42,5	42,8	26,7	4,6
2. Aufwuchs früh	8,2	10,3	3,1	33,7	44,7	46,5	30,2	3,9
2. Aufwuchs spät	8,7	15,3	2,5	33,5	40,0	50,6	31,8	5,5
A3 + Rotklee (2007)								
1. Aufwuchs früh	9,6	13,8	3,9	26,1	46,6	37,9	23,9	2,8
1. Aufwuchs spät	10,3	13,7	3,6	30,2	42,2	41,6	26,2	4,6
2. Aufwuchs spät	9,0	13,1	3,0	33,8	41,1	51,8	33,1	5,2
A1 (2007)								
1. Aufwuchs früh	9,3	13,4	3,6	28,5	45,2	39,6	25,6	3,9
1. Aufwuchs spät	9,3	12,9	3,6	28,9	45,3	41,5	25,8	3,3
2. Aufwuchs spät	8,2	14,6	2,6	30,4	44,2	49,3	30,9	5,2
Standort Berge (BB)								
A3 (2006)								
1. Aufwuchs früh	9,2	13,6	3,8	19,9	53,5	31,8	19,8	1,0
1. Aufwuchs spät	7,8	8,7	3,1	23,8	56,6	39,5	24,5	2,1
2. Aufwuchs früh	11,9	10,5	3,5	31,7	42,5	53,0	31,5	4,9
2. Aufwuchs spät	10,9	11,9	4,0	30,8	43,3	50,6	33,8	5,4
A3 (2007)								
1. Aufwuchs früh	9,7	10,9	2,9	27,9	48,6	39,7	25,6	2,2
1. Aufwuchs spät	8,3	8,4	2,9	32,3	48,1	47,4	30,0	5,2
2. Aufwuchs früh	12,0	13,2	2,9	32,8	39,1	46,4	32,2	3,5
2. Aufwuchs spät	13,3	13,2	3,3	31,1	39,1	45,8	32,6	3,7

XA... Rohasche, XP... Rohprotein, XL... Rohfett, XF... Rohfaser, NfE... Stickstofffreie Extraktstoffe

Tab. A8: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime

Ackergrasmischung (Jahr)	Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ FM]	Biogasausbeute [l _N *kg ⁻¹ oTM]	Methangehalt [Vol-%]
Standort Wehnen (NDS)			
A3 (2005)			
1. Aufwuchs früh	88	548	59
2. Aufwuchs früh	74	600	58
A3 + Rotklee (2005)			
1. Aufwuchs früh	91	571	58
2. Aufwuchs früh	85	611	57
A1 (2005)			
1. Aufwuchs früh	88	580	58
2. Aufwuchs früh	84	615	57
A3 (2006)			
1. Aufwuchs früh	80	596	58
1. Aufwuchs spät	131	610	61
2. Aufwuchs früh	148	638	58
2. Aufwuchs spät	214	550	56
A3 + Rotklee (2006)			
1. Aufwuchs früh	84	605	58
1. Aufwuchs spät	124	602	60
2. Aufwuchs früh	142	654	57
2. Aufwuchs spät	192	555	56
A1 (2006)			
1. Aufwuchs früh	83	621	58
1. Aufwuchs spät	114	600	60
2. Aufwuchs früh	141	641	57
2. Aufwuchs spät	218	572	56
A3 (2007)			
1. Aufwuchs früh	187	730	55
1. Aufwuchs spät	175	701	55
2. Aufwuchs früh	185	687	57
2. Aufwuchs spät	210	573	55
A3 + Rotklee (2007)			
1. Aufwuchs früh	192	739	55
1. Aufwuchs spät	181	713	58
2. Aufwuchs spät	212	602	57
A1 (2007)			
1. Aufwuchs früh	187	723	55
1. Aufwuchs spät	192	717	56
2. Aufwuchs spät	222	594	57
Standort Berge (BB)			
A3 (2006)			
1. Aufwuchs früh	227	691	54
1. Aufwuchs spät	150	635	56
2. Aufwuchs früh	173	590	61
2. Aufwuchs spät	229	558	58
A3 (2007)			
1. Aufwuchs früh	199	729	57
1. Aufwuchs spät	237	686	57
2. Aufwuchs früh	181	622	58
2. Aufwuchs spät	193	627	58

Fortsetzung Tab. A8: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen der ersten beiden Aufwüchse von Ackergrasmischungen mit unterschiedlichem Schnittregime

Standort Dornburg (TH)

A3 (2006)

1. Aufwuchs früh	150	649	55
1. Aufwuchs spät	133	630	56
2. Aufwuchs früh	150	564	59
2. Aufwuchs spät	177	495	60

A3 (2007)

1. Aufwuchs früh	254	721	56
1. Aufwuchs spät	172	634	56
2. Aufwuchs früh	126	619	58
2. Aufwuchs spät	144	593	59

Tab. A9: Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten mit unterschiedlichen Silierzusätzen

Silierzusatz	XA [% TM]	XP [% TM]	XL [% TM]	XF [% TM]	NfE [% TM]	NDF [% TM]	ADF [% TM]	ADL [% TM]
Mais 2005								
ohne	4,1	6,5	1,2	20,3	67,9	45,4	24,3	3,3
chem. A	4,6	6,5	1,1	20,0	67,8	43,2	22,2	2,9
biol. A	3,9	6,1	1,2	18,9	69,9	42,5	22,5	3,4
biol. B	4,1	6,3	1,7	21,1	66,9	45,8	26,6	3,6
biol. C	4,0	6,5	1,6	19,1	68,7	45,7	25,5	3,2
Mais 2007								
ohne	4,4	7,2	2,9	18,4	67,1	36,7	21,9	2,8
chem. A	4,3	7,6	3,2	18,9	66,0	34,6	21,1	2,0
biol. A	4,7	7,6	2,5	21,0	64,2	37,9	22,9	2,7
biol. B	4,5	8,0	2,8	19,8	64,9	35,5	21,3	2,0
biol. C	4,2	7,5	3,5	18,8	66,0	35,4	20,9	2,2
Grünschnittroggen								
ohne	6,1	11,7	2,7	37,2	42,4	59,1	37,6	5,3
chem. B	6,0	12,1	2,6	36,9	42,5	59,3	37,7	5,0
biol. A	5,9	9,9	3,0	40,1	41,1	63,0	40,8	4,7
Sudangras								
ohne	12,7	5,3	1,8	27,9	52,3	47,3	39,3	4,8
chem. B	9,2	5,8	1,6	28,2	55,3	47,4	38,1	5,6
biol. A	11,3	5,3	1,8	29,6	52,0	50,1	42,5	5,6
Wintertriticale								
ohne	5,2	8,1	1,8	27,0	57,9	42,9	27,9	4,7
chem. B	4,7	8,8	1,6	28,0	56,9	43,1	27,9	4,6
biol. A	4,8	8,5	2,0	27,5	57,2	44,5	29,5	4,7

XA... Rohasche, XP... Rohprotein, XL... Rohfett, XF... Rohfaser, NfE... Stickstofffreie Extraktstoffe

Tab. A10: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten mit unterschiedlichen Silierzusätzen

Silierzusatz	Biogasausbeute [lN*kg ⁻¹ FM]	Biogasausbeute [lN*kg ⁻¹ oTM]	Methangehalt [Vol-%]
Mais 2005			
ohne	205	598	53
chem. A	207	628	53
biol. A	235	673	54
biol. B	224	635	53
biol. C	217	641	54
Mais 2007			
ohne	189	633	57
chem. A	186	610	56
biol. A	185	663	56
biol. B	183	626	57
biol. C	191	635	57
Grünschnittroggen			
ohne	123	560	60
chem. B	120	536	60
biol. A	126	556	62
Sudangras			
ohne	154	590	56
chem. B	161	591	54
biol. A	150	579	56
Wintertriticale			
ohne	212	629	58
chem. B	216	600	57
biol. A	226	657	57

Tab. A11: Chemische Zusammensetzung der Silagen verschiedener Pflanzenarten bei unterschiedlichen Silierdauer

Lagerdauer [d]	XA [% TM]	XP [% TM]	XL [% TM]	XF [% TM]	NfE [% TM]	NDF [% TM]	ADF [% TM]	ADL [% TM]
Mais								
0 (FM)	4,6	7,5	2,2	19,9	65,8	41,6	24,3	3,4
10	4,2	6,9	3,2	18,8	66,8	37,1	21,4	2,8
90	4,4	7,2	2,9	18,4	67,1	36,7	21,9	2,8
180	4,5	6,1	2,9	18,4	68,0	33,8	20,7	2,0
365	4,6	6,7	3,2	20,0	65,5	36,9	23,1	3,7
Grünschnittroggen								
0 (FM)	5,8	10,5	1,9	37,8	43,9	65,5	43,7	4,4
10	5,8	10,8	1,6	37,9	43,9	59,9	39,5	3,9
90	6,1	11,7	2,7	37,2	42,4	59,1	37,6	5,3
180	6,0	10,8	2,3	43,8	37,0	62,4	42,3	5,4
365	6,4	9,2	2,2	39,8	42,4	59,4	42,1	6,3
Sudangras								
0 (FM)	7,9	4,8	2,1	30,1	55,1	62,4	39,4	5,8
10	9,9	5,2	1,7	29,3	53,8	56,6	39,1	5,8
90	12,7	5,3	1,8	27,9	52,3	47,3	39,3	4,8
180	10,2	5,3	1,4	31,5	51,7	50,9	40,8	6,8
365	9,3	5,5	1,3	31,7	52,2	52,7	39,3	5,3
Wintertriticale								
0 (FM)	4,8	6,7	1,3	26,1	61,2	44,1	28,5	4,7
10	4,9	7,8	2,1	26,5	58,7	43,5	27,6	4,5
90	5,2	8,1	1,8	27,0	57,9	42,9	27,9	4,7
180	4,8	7,7	2,0	25,0	60,6	42,8	27,7	4,7
365	4,8	8,1	2,7	28,4	56,0	44,2	29,2	6,8

XA... Rohasche, XP... Rohprotein, XL... Rohfett, XF... Rohfaser, NfE... Stickstofffreie Extraktstoffe

Tab. A12: Biogasausbeuten und Methangehalte im Biogas der Silagen verschiedener Pflanzenarten bei unterschiedlicher Silierdauer

Lagerdauer [d]	Biogasausbeute [lN*kg ⁻¹ FM]	Biogasausbeute [lN*kg ⁻¹ oTM]	Methangehalt [Vol-%]
Mais			
0 (FM)	188	607	54
10	190	618	55
90	189	633	57
180	191	646	58
365	196	674	56
Grünschnittroggen			
0 (FM)	123	514	57
10	124	541	59
90	123	560	60
180	126	574	60
365	123	560	61
Sudangras			
0 (FM)	167	588	54
10	154	569	56
90	154	590	56
180	155	592	56
365	160	619	56
Wintertriticale			
0 (FM)	216	595	57
10	204	601	57
90	212	629	58
180	215	632	58
365	213	633	56

Tab. A13: Ergebnisse der Bonituren und Messung in den Pflanzenbeständen, Betrieb K

Pflanzenart	Datum	BBCH	Bestandes- dichte	Bodenbe- deckung [%]	Bestandes- höhe [cm]	Biomasse [kg/m ²]	TM [%]
Mais (2005)	10.06.2005	17	11 Pfl./m ²	30	18	4,3	38,4
	07.07.2005	31	11 Pfl./m ²	83	94		
	26.07.2005		11 Pfl./m ²	90	190		
	23.08.2005	73	11 Pfl./m ²	90	251		
	28.09.2005	88	11 Pfl./m ²	75	244		
Grünschnitt- roggen	03.11.2005	10		4	4	0,6	21,1
	05.04.2006	24	130 Pfl./m ²	18	5		
	09.05.2006	32	3 Triebe/Pfl.	39	41		
Sudangras	22.06.2006	19	23 Pfl./2 lfd. m	14	13	1,6 2,6	18,4 29,8
	06.09.2006	50	31 Pfl./2 lfd. m	74	147		
	06.10.2006	70	28 Pfl./2 lfd. m	75	167		
Wintertriticale	02.11.2006	10	133 Pfl./m ²	2	7	1,6	39,0
	30.03.2007	24		41	13		
	16.05.2007	58	176 ä.H./m ²	60	49		
	06.06.2007	67	197 ä.H./m ²	66	73		
	20.06.2007	79	245 ä.H./m ²	57	73		
Winterroggen (Korn) – Flä- che I	17.04.2008	26	50 Pfl./m ² 6 Triebe/Pfl.	53	25	0,5 (Korn)	77,3
	20.05.2008	60	283 ä.H./m ²	65	122		
	24.06.2008	85		61	138		
	06.08.2008	89	304 ä.H./m ²	64	134		
perennieren- der Roggen	03.11.2005	10		3	5	0,4	23,7
	05.04.2006	23	106 Pfl./m ²	10	5		
	09.05.2006	31	4 Triebe/Pfl.	41	35		
	22.06.2006	60	121 ä.H./m ²	40	84		
	06.09.2006	97;24	98 ä.H./m ²	76	93 ; 23		
	02.11.2006	23	17 Pfl./m ²	67	18		
	30.03.2007	28		16	10		
16.05.2007	54	62 ä.H./m ²	27	51			
Mais (2007)	16.05.2007	12	4 Pfl./m ²	2	5	6,6	33,6
	06.06.2007	17	10 Pfl./m ²	12	26		
	19.07.2007	70	12 Pfl./m ²	82	231		
	23.08.2007	85	11 Pfl./m ²	85	235		
	12.09.2007	89	12 Pfl./m ²	83	235		
Winterroggen (Korn) – Flä- che II	17.04.2008	28	64 Pfl./m ² 9 Triebe/Pfl.	73	35	0,3 (Korn)	81,1
	20.05.2008	60	350 ä.H./m ²	72	127		
	24.06.2008	85	274 ä.H./m ²	62	136		
	06.08.2008	89	250 ä.H./m ²	66	127		

ä.H. ... ährentragende Halme

Tab. A14: Ergebnisse der Bonituren und Messung in den Pflanzenbeständen, Betrieb M

Pflanzenart	Datum	BBCH	Bestandes- dichte	Bodenbe- deckung [%]	Bestandes- höhe [cm]	Biomasse [kg/m ²]	TM [%]
Mais	03.06.2005	13	13 Pfl./m ²	5	16	5,3	33,2
	06.07.2005	28	11 Pfl./m ²	13	50		
	25.07.2005	54	11 Pfl./m ²	68	176		
	22.08.2005	73	11 Pfl./m ²	64	227		
	20.09.2005	86	10 Pfl./m ²	43	229		
Grünschnitt- roggen	02.11.2005	12	93 Pfl./m ² 8 Triebe/Pfl. 431 ä.H./m ²	13	6	1,5 2,7	14,6 24,9
	04.04.2006	26		36	6		
	08.05.2006	33		68	71		
	29.05.2006	62		78	161		
Sudangras	06.07.2006	17	9 Pfl./2 lfd. m	2	11	1,0	39,4
	06.09.2006	33	6 Pfl./2 lfd. m	2	58		
	22.09.2006	39	6 Pfl./2 lfd. m	5	72		
Wintertriticale	16.11.2006	12	135 Pfl./m ²	2	4	2,7	34,5
	02.04.2007	24	62 Pfl./m ²	42	14		
	14.05.2007	52	263 ä.H./m ²	74	51		
	13.06.2007	85	345 ä.H./m ²	83	94		
Winterroggen (Korn) – Fläche I	15.04.2008	28	34 Pfl./m ² 8 Triebe/Pfl.	54	26	0,7 (Korn)	77,3
	22.05.2008	59	452 ä.H./m ²	58	121		
	26.06.2008	85		65	131		
	12.08.2008	89	304 ä.H./m ²	78	128		
perennierender Roggen	02.11.2005	26	28 Pfl./m ² 10 Triebe/Pfl. 435 ä.H./m ²	44	7	3,5	22,5
	04.04.2006	28		42	9		
	08.05.2006	33		93	79		
	29.05.2006	60		85	161		
	11.07.2006	64	33 ä.H./m ²	3	67		
	05.09.2006	97	25 ä.H./m ²	6	64		
Winterroggen (GPS)	16.11.2006	19	147 Pfl./m ²	6	6	2,6	33,8
	02.04.2007	26	66 Pfl./m ²	50	16		
	14.05.2007	58	367 ä.H./m ²	85	111		
	13.06.2007	84	338 ä.H./m ²	88	151		

ä.H. ... ährentragende Halme