



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen



LfL-Information

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Vöttinger Str. 36, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3450

Datum: Juli / 2007

Druck: Lerchl Druck, 85354 Freising

© LfL



Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen

Dipl.-Ing. agr. M.Sc. Felipe Kaiser
Dr. Andreas Gronauer

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	6
2	Material und Methode	6
2.1	Weihenstephaner Batch System (WBS).....	7
2.2	Normierung der Methanerträge.....	7
3	Ergebnisse	8
3.1	Methanerträge verschiedener Maissorten	8
3.2	Methanerträge von Grünland	10
3.3	Methanerträge verschiedener Gräser.....	12
3.3.1	Weidelgräser	12
3.3.2	Leguminosen.....	14
3.3.3	Andere Gräser	16
3.4	Methanerträge anderer Fruchtarten.....	18
3.5	Methanerträge von Getreide GPS	19
	Literatur	21

1 Einleitung

Die Förderung regenerativer Energieformen hat in den letzten Jahren nicht nur aus ökologischen Gründen – vor allem wegen des Klimaschutzes –, sondern auch zunehmend aus ökonomischen und politischen Gründen Bedeutung erhalten. Nicht fossile Energiequellen wie Wind, Sonne, Wasser und Biomasse können jedoch nicht in gleicher Art und Weise in konventionelle Strukturen wie Großkraftwerke und transnationale Netze eingebunden werden, sondern sind eher in regionale Wirtschaftskreisläufe integriert. Sie richten sich nach den regionalen klimatischen Besonderheiten und verfügbaren Rohstoffen aus und sind damit eher dezentral einzusetzen.

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurde vor der Novelle des EEG 2004 meistens aus der Tierhaltung anfallender Wirtschaftsdünger in Form von Flüssig- oder Festmist eingesetzt. Wirtschaftsdünger sind besonders geeignet, da sie keine Kosten verursachen, sofern sie nicht transportiert werden müssen, und vor allem bei Wirtschaftsdüngern von Wiederkäuern eine kontinuierliche Zufuhr von anaeroben Mikroorganismen zum Biogasprozess gewährleistet wird. Aufgrund des relativ geringen Gasbildungspotentials ist es allerdings sinnvoll, zusätzlich andere, energetisch hochwertigere Stoffe gemeinsam mit dem Basissubstrat Wirtschaftsdünger einzusetzen. Vor der EEG-Novelle 2004 wurden vor allem Kosubstrate aus Reststoffen der Lebensmittelverarbeitung und organische Abfälle wie z.B. aus der „Biotonne“ eingesetzt.

Die Betreiber landwirtschaftlicher Biogasanlagen setzen mit der EEG-Novelle 2004 zunehmend nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) ein, ohne genaue Kenntnisse über deren Einfluss auf die Prozesskinetik, das Stoffverhalten, die Substrateigenschaften, die Erträge und die ökonomischen Auswirkungen der NawaRo zu haben. Die einzigen Informationen, die zur Verfügung stehen, sind sehr heterogene Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der potenziellen Gaserträge. Diese Daten weisen sehr große Schwankungen auf und sind bis heute noch nicht validiert, weil bis jetzt die Frage der Übertragbarkeit von Laborfermenterergebnissen auf Praxisbiogasanlagen noch nicht beantwortet ist und die Untersuchungen bislang mit nicht standardisierten Laborfermentern und teilweise sehr unterschiedlichen Impfsubstraten (Startbiozönose) durchgeführt werden.

Deshalb wurden in einem Forschungsprojekt, in dem mehrere Arbeitsgruppen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) zusammengearbeitet haben, verschiedene Arten bzw. Sorten von NawaRo – inklusive kompletter Analyse – geprüft, um die Grundlagen für ein EDV gestütztes Expertensystem für landwirtschaftliche Biogasanlagen zu schaffen. Diese Grundlagen umfassen Angaben über alle relevanten Pflanzeninhaltsstoffe und deren Abbaukinetik in einer Biogasanlage sowie dynamisch erfasste Daten zum Gasertrag und der Gaszusammensetzung.

2 Material und Methode

Um die Prozesskinetik des anaeroben Abbaus und die Gaserträge der Versuchsvarianten zu prüfen, wurde das Weihenstephaner Batch System (WBS) mit umfangreicher Analytik eingesetzt.

2.1 Weihenstephaner Batch System (WBS)

Das Weihenstephaner Batch System (WBS) ist eine Laborfermentieranlage, die einen automatischen Betrieb ermöglicht (Abbildung 1). Die Anlage besteht aus 18 Klimaschränken mit regelbarer Temperatur. Jeder Klimaschrank enthält 12 Glasreaktoren ($V = 2\text{ L}$). Jeder Glasreaktor hat seinen eigenen Gaszähler (Milligascounter®). Vom Gaszähler werden die Gasmengen der Wiederholungen ($n = 3$) in einem Gassack zwischengespeichert und von dort automatisch zur Gasanalyse zugeführt. Die Milligascounter® erzeugen einen elektrischen Impuls, der von dem Gasanalysegerät erfasst wird. Somit ist es möglich, jeden einzelnen Liter Biogas, der in den Reaktoren gebildet wird, automatisch hinsichtlich seiner Gaszusammensetzung zu analysieren. Die Daten zur Gasproduktion und Gasanalyse werden in einer Access-Datenbank abgelegt.

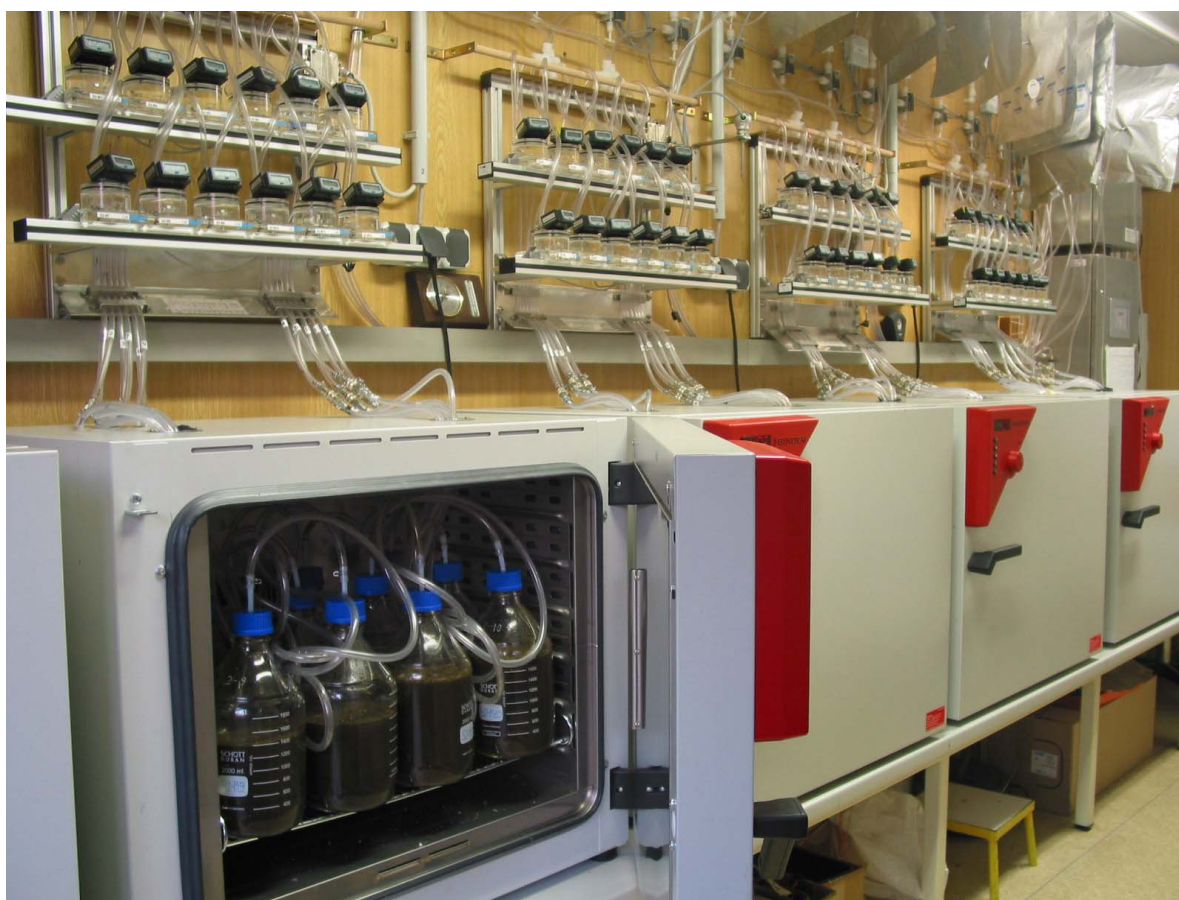


Abbildung 1: Weihenstephaner Batch System (WBS)

2.2 Normierung der Methanerträge

Der Milligascounter® ist ein volumetrischer Gaszähler und misst daher das Gasvolumen im jeweils aktuellen Betriebszustand, der von Gastemperatur, Luftdruck und Wasserdampf-Partialdruck abhängt. Zur Umrechnung auf Normbedingungen werden daher diese Messgrößen benötigt. Die Gastemperatur wird dabei am Gasausgang gemessen.

Die Methanerträge der Versuche wurden deswegen auf trockenes Norm-Gas (273,15 K und 1013,25 hPa) umgerechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Methanerträge verschiedener Maissorten

Die Maissorten, die geerntet und siliert wurden, stammen von den Versuchsfeldern der Arbeitsgruppe Mais des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ). Als Referenzsorte wurde die adaptierte deutsche Sorte Gavott (S250) ausgewählt. Zusätzlich wurden Spezialsorten für Biomasse ausgewählt. Aus Südfrankreich wurde die Sorte KXA 3191 und eine Hybride zwischen Sorten aus Mexiko und Italien hinzugenommen. Für 2004 wurden die Sorten Mikado (S500) und KXA 4171 (S280) im Vergleich zu Gavott untersucht.

Die Mittelwerte der Methanerträge aus den Silagen der getesteten Maissorten zeigten einen Schwankungsbereich von 245 bis 431 L Methan/kg oTM (Abbildung 2).

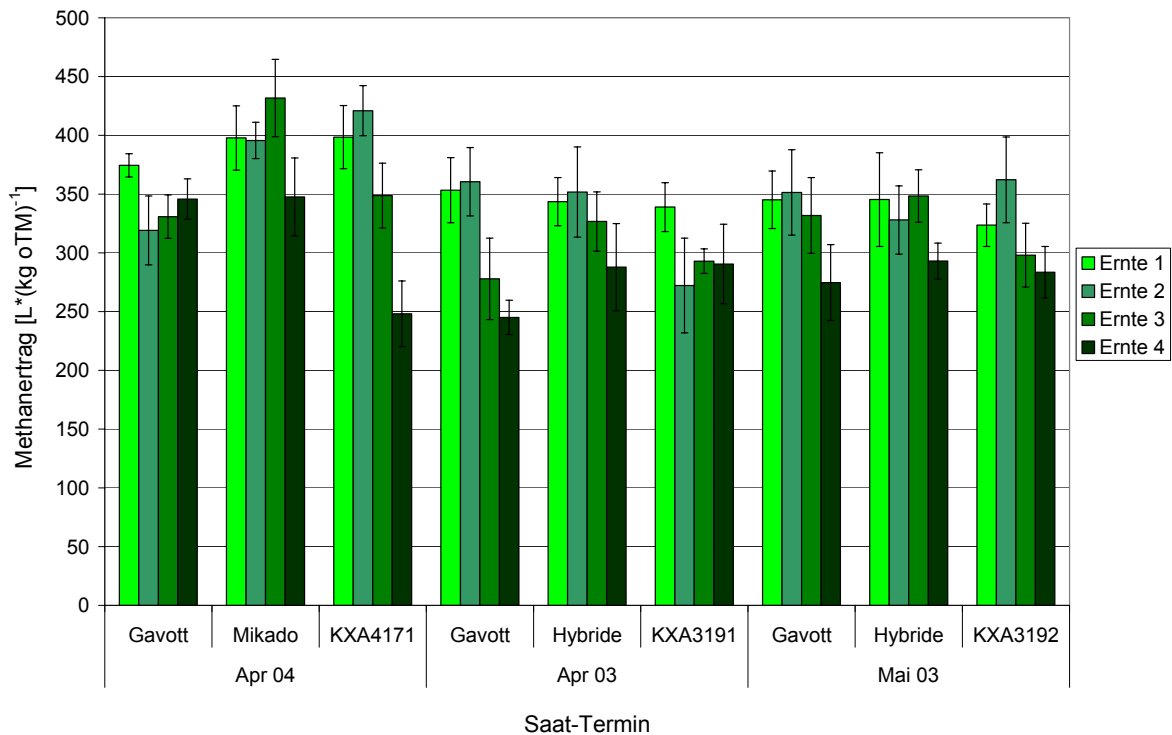


Abbildung 2: Methanerträge der untersuchten Maissorten

Die Abhängigkeit des Methanertrags von den Trockenmassegehalten ist in der Abbildung 3 dargestellt. Wegen der Sortenabhängigkeit dieser Korrelation ist das Bestimmtheitsmaß sehr niedrig ($R^2 = 0,48$), aber die Tendenz ist klar zu erkennen. Je höher die Trockenmassegehalte der Maissorten, desto niedriger die Biogas- und Methanerträge.

Werden diese Ergebnisse mit den flächenbezogenen Trockenmasseerträgen kombiniert, zeigt sich, dass die höchsten Methanhektarerträge aus Material des 2. Erntetermins erreicht werden und knapp unter 8.000 m^3 liegen (Abbildung 4). Bei einem Heizwert von $9,96 \text{ kWh}$ pro m^3 Methan, einem angenommenen Wirkungsgrad des BHKW von 35% und 8.000 Betriebsstunden im Jahr, ergibt sich eine elektrische Leistung pro Hektar von bis zu $3,5 \text{ kW}$.

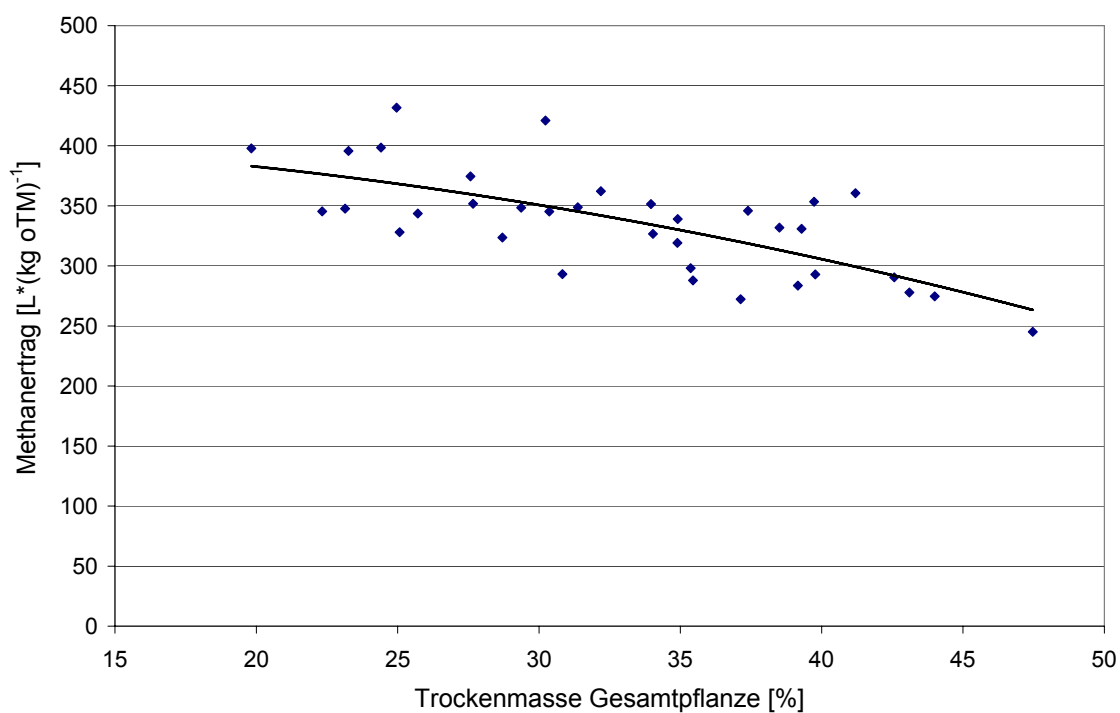


Abbildung 3: Gasertrag aller Maissorten in Abhängigkeit der TS

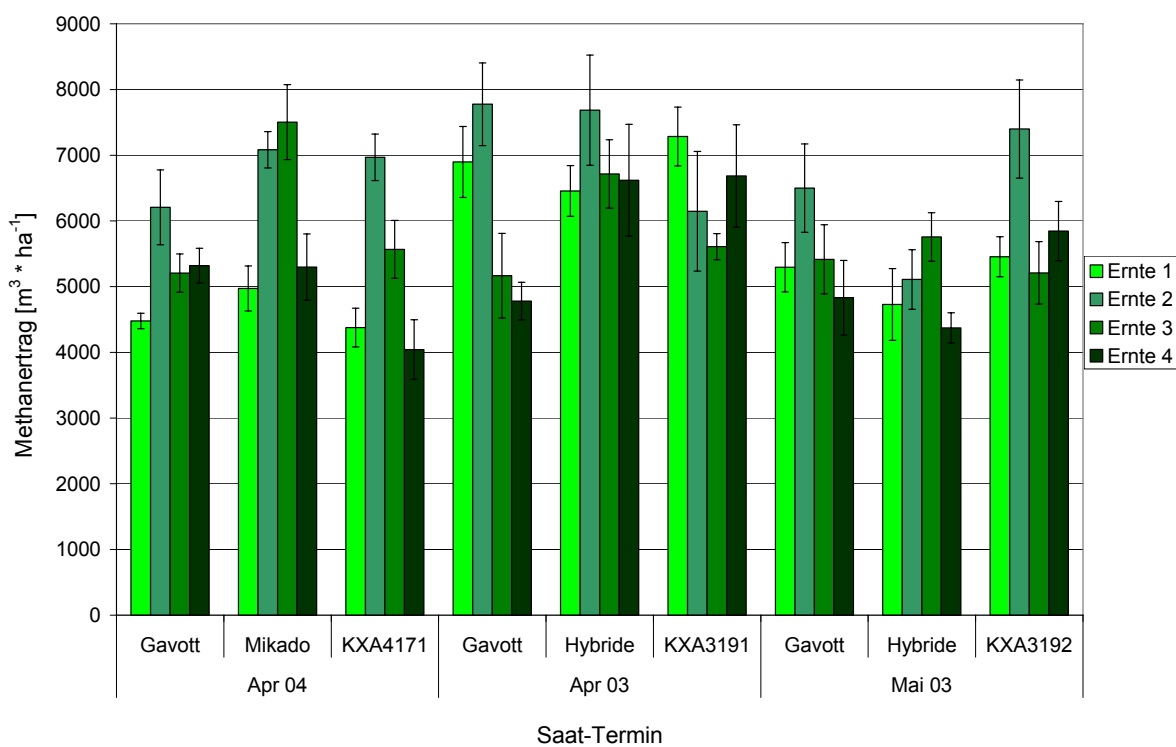


Abbildung 4: Methanhektarertrag aller Maissorten

3.2 Methanerträge von Grünland

Die beprobten Flächen der Grünlandvarianten befinden sich am Lehr- und Versuchsgut Spitalhof in Kempten (Allgäuer Alpenvorland), im Raum Passau (Bayerischer Wald) und im Raum Steinach (Vorwald des Bay. Waldes) (Tabelle 1).

Tabelle 1: Grünlandvarianten

Kennzeichen	Standort	Schnitte pro Jahr	Düngungsart	N-Düngung (kg/ha)* bzw. (m ³ /ha)**
G1	Allgäuer Alpenvorland	5	mineralisch	300
G2		5	mineralisch	200
G3		4	mineralisch	300
G4		4	mineralisch	200
G5		4	mineralisch	120
G6	Allgäuer Alpenvorland	4	Gülle	4 x 20
G7	Bayerischer Wald	4	ohne	ohne
G8		3	Gülle	3 x 20
G9		5	Gülle	3 x 20
G10	Vorwald des-Bay. Waldes	4	Gülle	3 x 20
G11		3	Gülle	2 x 25
G12		3	ohne	ohne

*) bei mineralischer Düngung **) bei Düngung mit Gülle

Die Grünlandvarianten zeigen, dass die Mittelwerte der Erträge aus Frischmaterial von 200 bis zu 417 L Methan je kg oTM schwanken können. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 225 bis 423 L Methan je kg oTM und die Proben aus Heu einen Schwankungsbereich von 206 bis 224 L Methan je kg oTM (Abbildung 5).

Die Methanerträge pro Hektar Grünland zeigten eine Bandbreite von 1.136 bis 4.462 m³ Methan/ha/a. Dies entspricht einem Faktor von 4. Diese hohe Variabilität bestätigt die Notwendigkeit, der Vielfalt der bayerischen Standortgegebenheiten entsprechend Rechnung zu tragen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass durch die Bewirtschaftungsintensität und die Standortfaktoren deutliche Unterschiede in den Methanertragungspotenzialen von Dauergrünland zu erwarten sind (Abbildung 6).

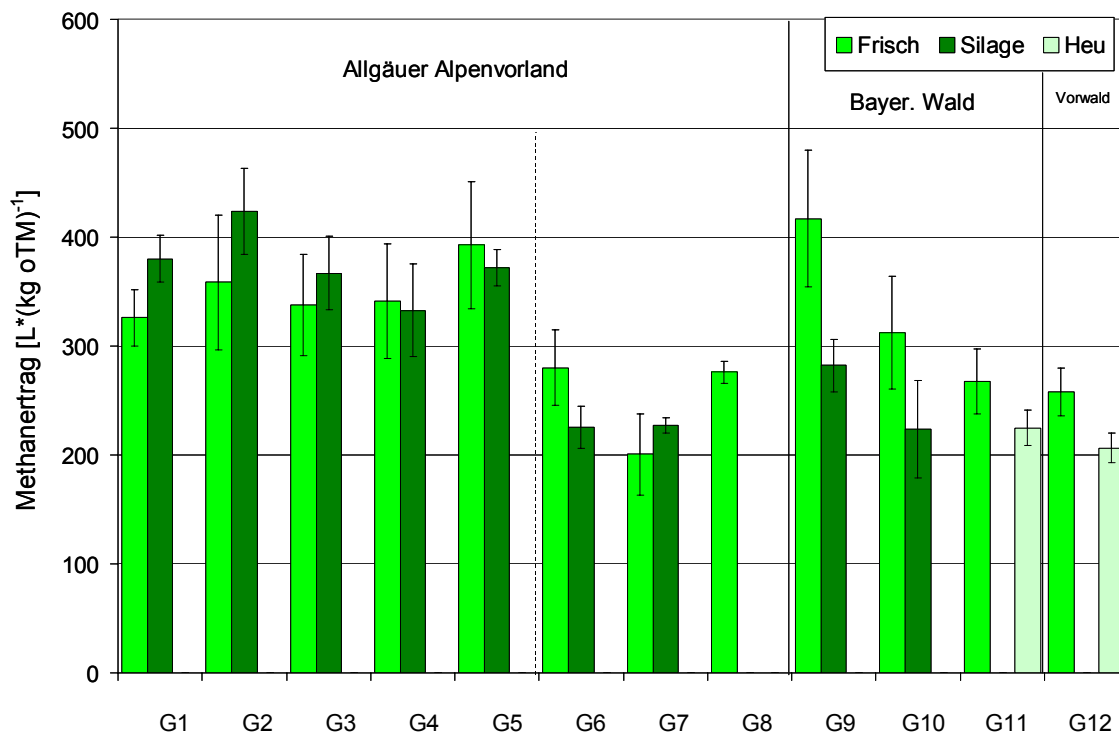


Abbildung 5: Methanertrag Grünland

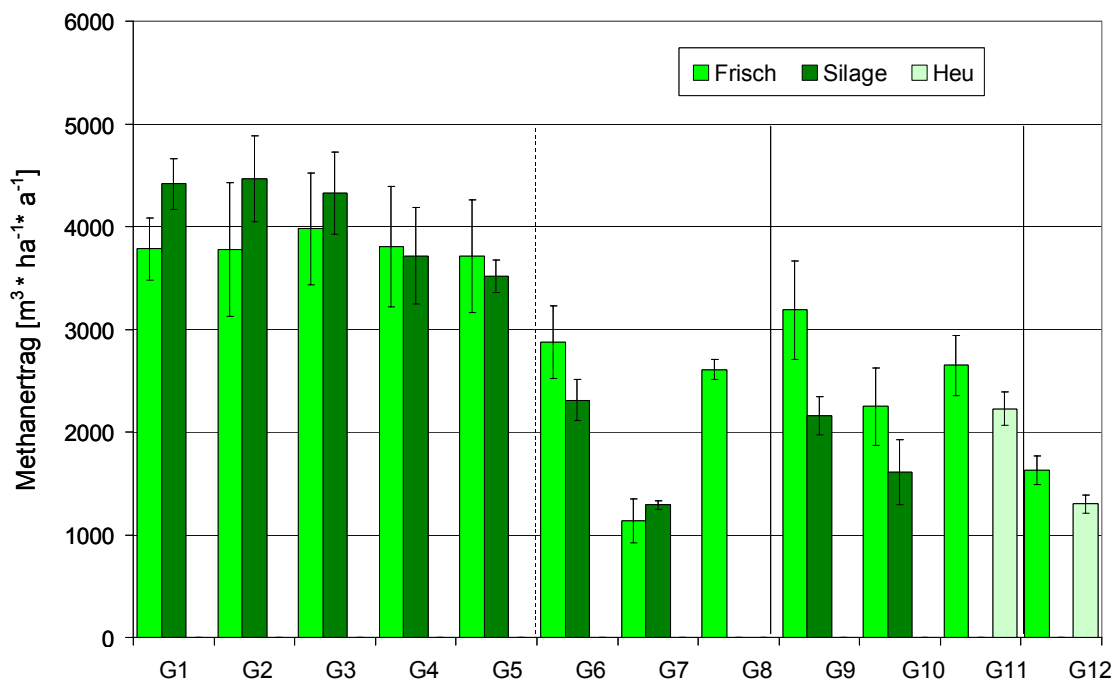


Abbildung 6: Methanhektarertrag Grünland

3.3 Methanerträge verschiedener Gräser

Die Substrate für die Untersuchungen im Labormaßstab standen aus dem laufenden Versuchsprogramm der Arbeitsgruppe IPZ 4b zu den üblichen Ernteterminen (optimaler Erntetermin für die Tierernährung) zur Verfügung.

3.3.1 Weidelgräser

Die untersuchten Weidelgräser zeigen einen großen Schwankungsbereich bei der Weender-Analyse. Die Trockenmassegehalte schwanken zwischen 11 und 33%, Rohprotein zwischen 10 und 31% der TM, Rohfaser zwischen 16 und 33% der TM und Rohfett zwischen 1 und 5% der TM. Die mittleren Erträge der verschiedenen Sorten liegen zwischen 477 und 846 L Biogas je kg oTM, bzw. zwischen 198 und 443 L Methan je kg oTM (Abbildung 7).

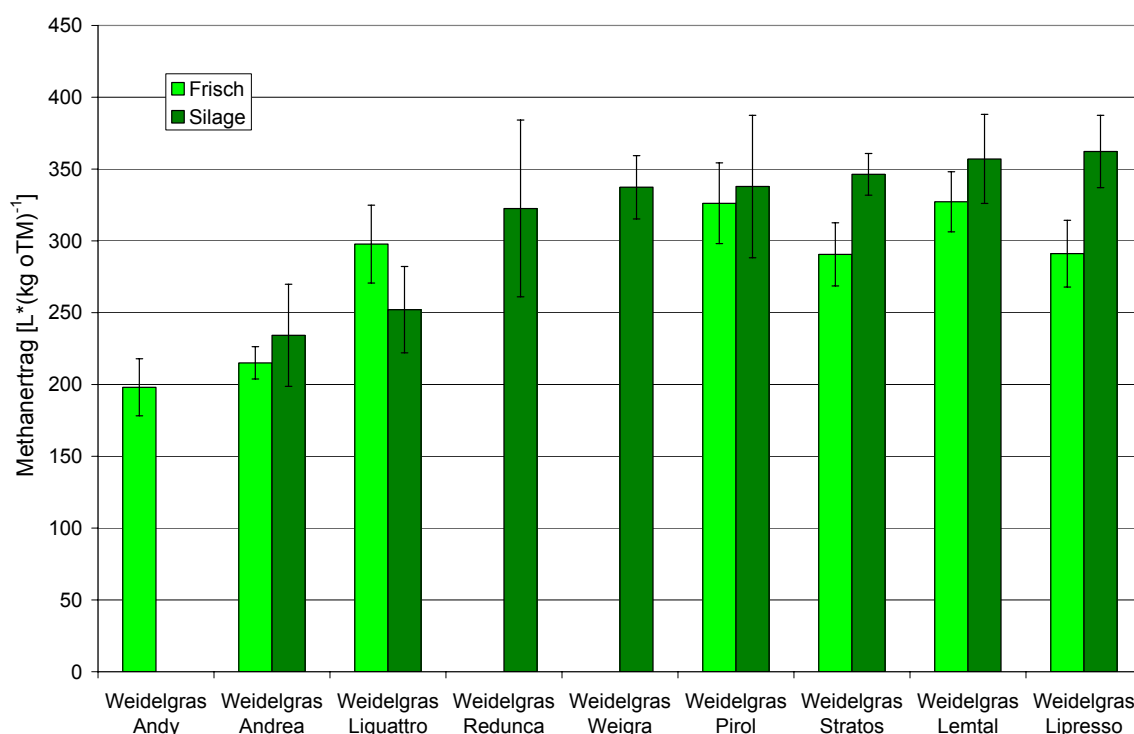


Abbildung 7: Methanertrag Weidelgräser

Werden diese Daten mit den Methanerträgen kombiniert, ergeben sich die in Abbildung 8 dargestellten jahresbezogenen Methanhektarerträge. Hierbei ist zu erkennen, dass dem Trockenmasseertrag eine wichtigere Bedeutung als dem potenziellen Methanertrag zukommt. Der höchste Methanhektarertrag wird von den selben Sorten erreicht, die auch den höchsten Trockenmasseertrag je Hektar und Jahr erreicht haben. Die Varianten erzielen mittlere Hektarerträge aus Frischmaterial zwischen 2.500 und 5.600 m³ Methan je Hektar und Jahr. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 3.000 bis 5.800 m³ Methan je Hektar und Jahr.

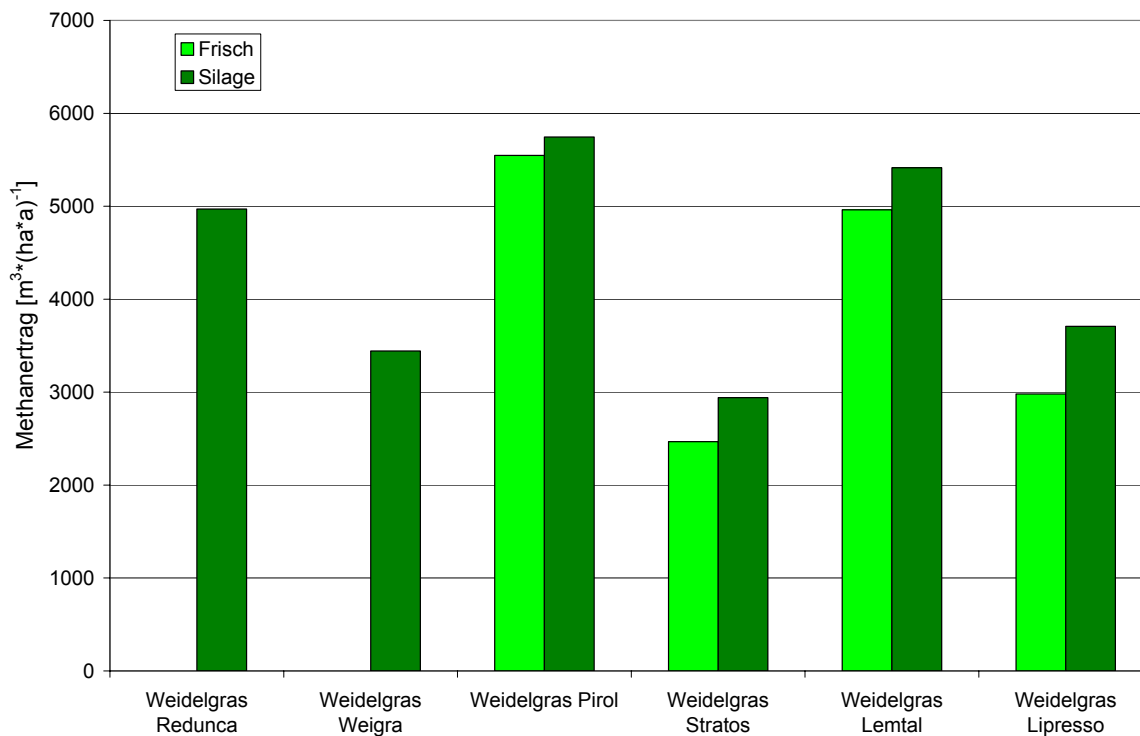


Abbildung 8: Methanertrag Weidelgräser

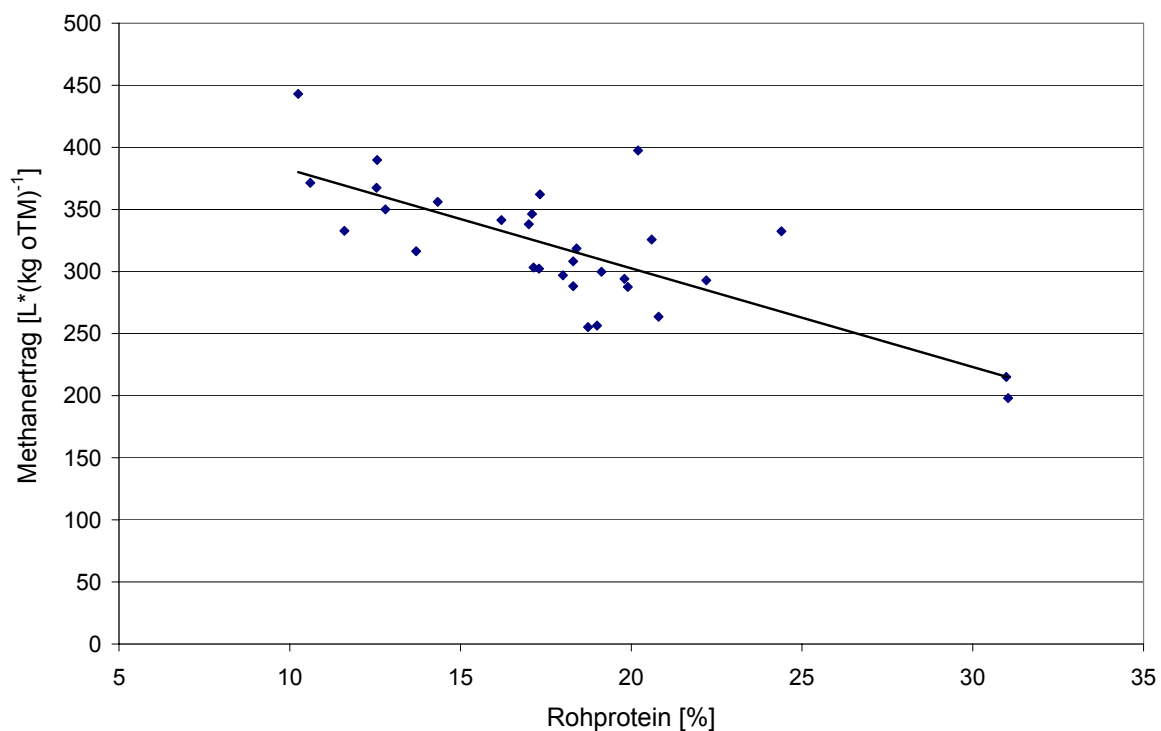


Abbildung 9: Methanertrag Weidelgräser in Abhängigkeit vom Rohproteingehalts

Für Weidelgräser besteht hinsichtlich des Methanertrags aus der organischen Trockenmasse eine hohe Abhängigkeit vom Gehalt des Rohproteins (Abbildung 9). Je höher der Rohproteingehalt, desto geringer der Methanertrag. Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass sich mit steigendem Rohproteingehalt im Substrat das C/N-Verhältnis reduziert und in der Folge eine Erhöhung des Ammoniumgehaltes im Gärsubstrat auftritt. Dieser Anstieg kann zu einer Hemmung des Prozesses führen. Dadurch wird das Gasertragspotenzials proteinreicher Substrate deutlich unterschätzt. Dieses Phänomen tritt umso stärker auf, je enger das C/N-Verhältnis, beziehungsweise der Ammonium-N-Gehalt im Fermenter ist. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dieses C/N-Verhältnis beim Ansatz von Gräsern zu beachten und entsprechend zu korrigieren.

3.3.2 Leguminosen

Die verschiedenen Sorten zeigen mittlere Erträge von 390 bis zu 714 L Biogas je kg oTM und von 198 bis zu 363 L Methan je kg oTM (Abbildung 10). Die Schwankungen sind geringer als bei den Weidelgräsern.

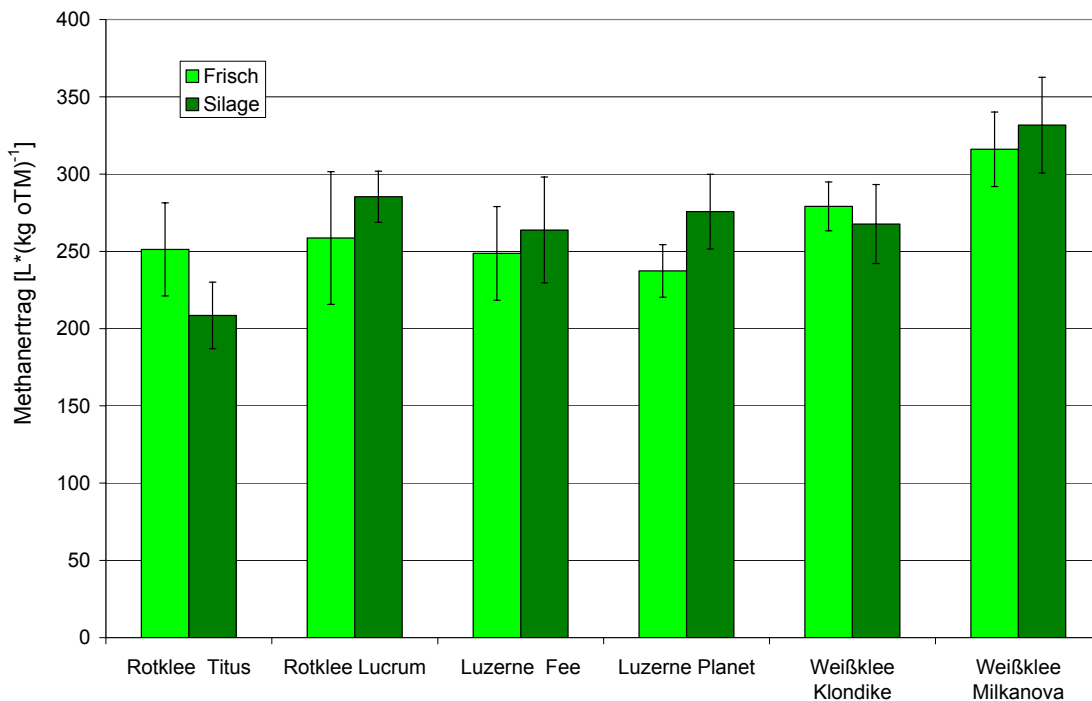


Abbildung 10: Methanertrag Leguminosen

Die Varianten zeigen eine Variation der Methanhektarerträge aus Frischmaterial von 1.000 bis zu 3.800 m³ Methan je Hektar und Jahr. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 1.100 bis 4.000 m³ Methan je Hektar und Jahr (Abbildung 11).

Die Sorte Titus zeigte einen von Schnitt zu Schnitt abnehmenden Methanertrag aus der organischen Trockenmasse. Für die ökonomische Analyse sollten genauere Untersuchungen feststellen, bei welchem Schnitt der Grenzertrag für die Rentabilität erreicht wird (Abbildung 12).

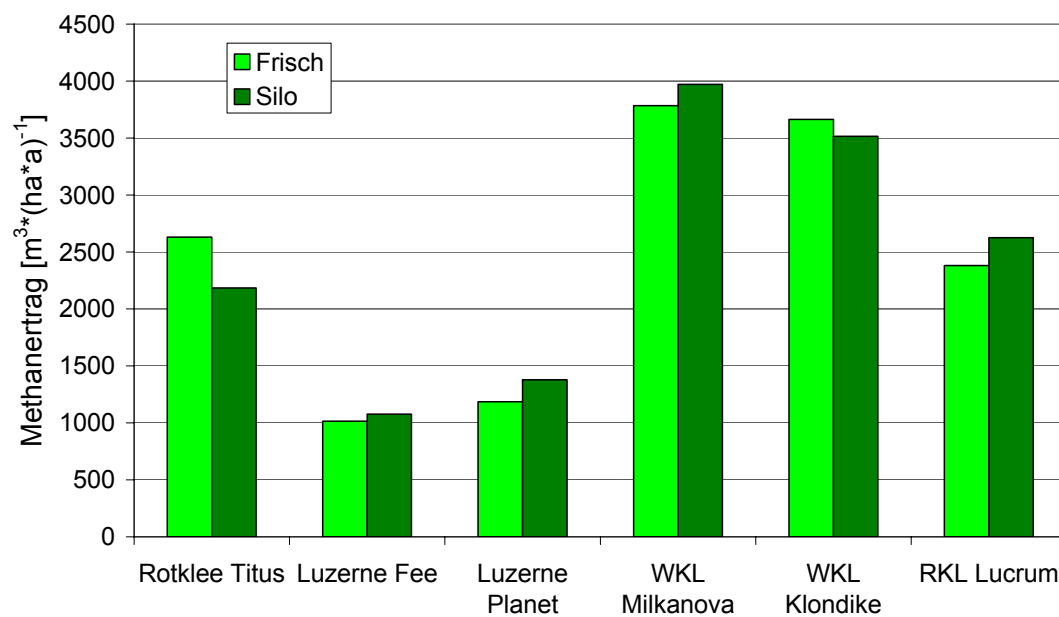


Abbildung 11: Methanhektarertrag Leguminosen

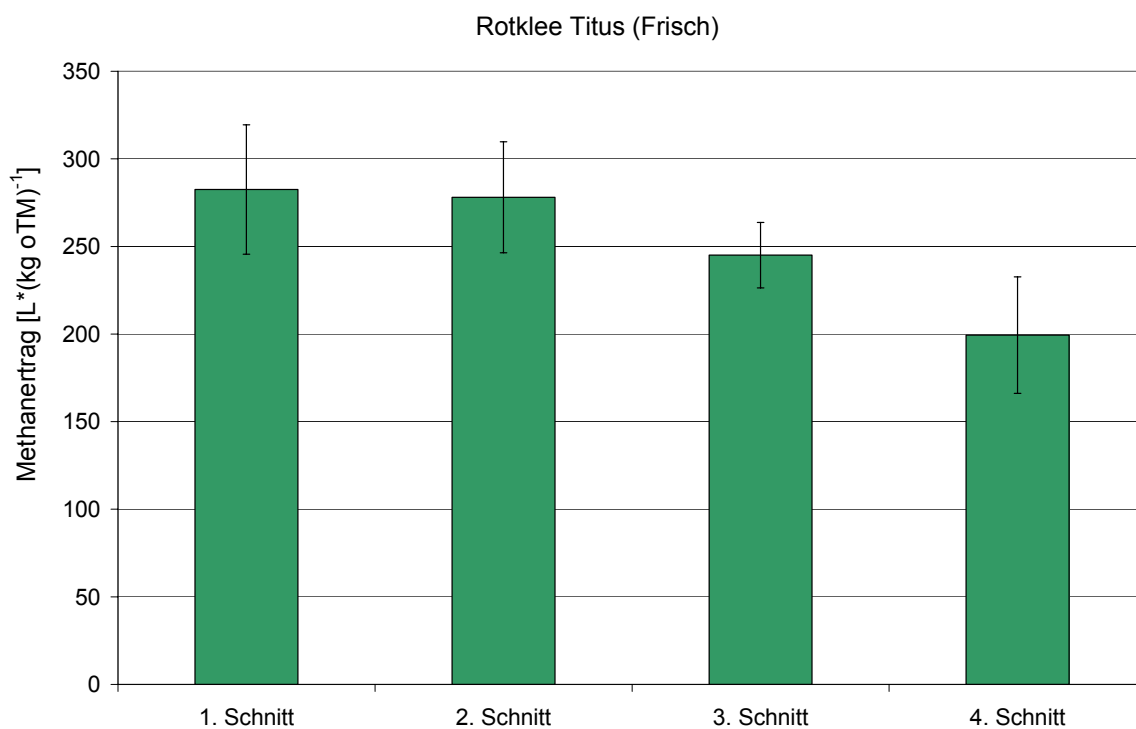


Abbildung 12: Methanhektarertrag Leguminosen

3.3.3 Andere Gräser

Die verschiedenen Sorten zeigen, dass die mittleren Gaserträge von 443 bis zu 711 L Biogas je kg oTM und von 208 bis zu 381 L Methan je kg oTM schwanken können (Abbildung 13). Diese Schwankungen sind geringer als bei den Weidelgräsern.

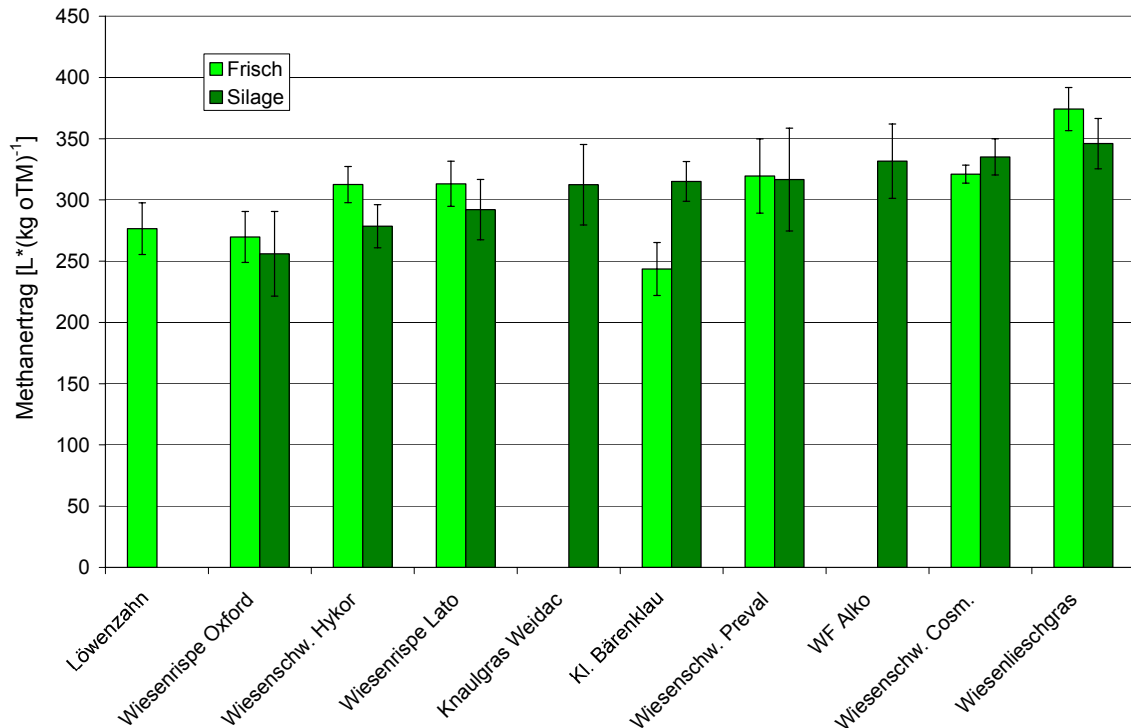


Abbildung 13: Methanertrag Gräser

Die Varianten zeigen Methanhektarerträge aus Frischmaterial, die von 3.000 m³ bis zu 5.200 m³ Methan je Hektar und Jahr schwanken können. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 2.900 bis 4.800 m³ Methan je Hektar und Jahr (Abbildung 14).

Bei der Variante Wiesenrispe Lato wurden mehrere Schnitte untersucht und es wurde festgestellt, dass die Methanerträge von Schnitt zu Schnitt kontinuierlich absinken. Dieses Ergebnis ist vor allem auf den von Schnitt zu Schnitt sinkenden Methangehalt des gebildeten Biogases zurückzuführen (Abbildung 15).

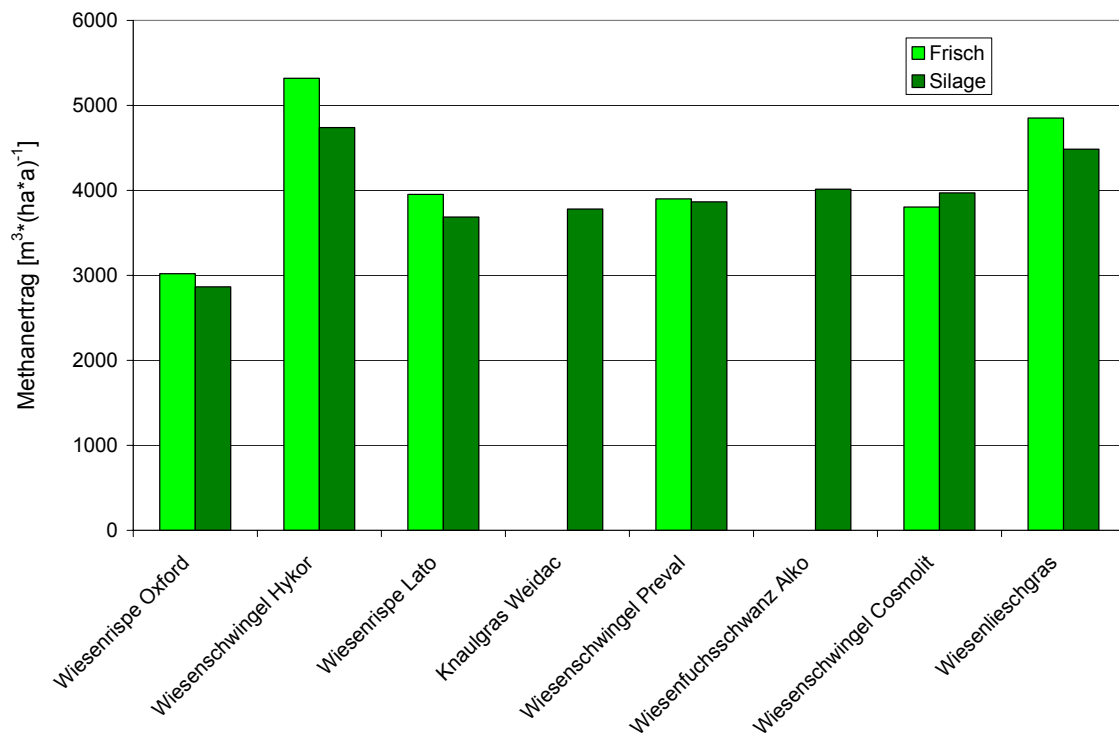


Abbildung 14: Methanhektarertrag Gräser

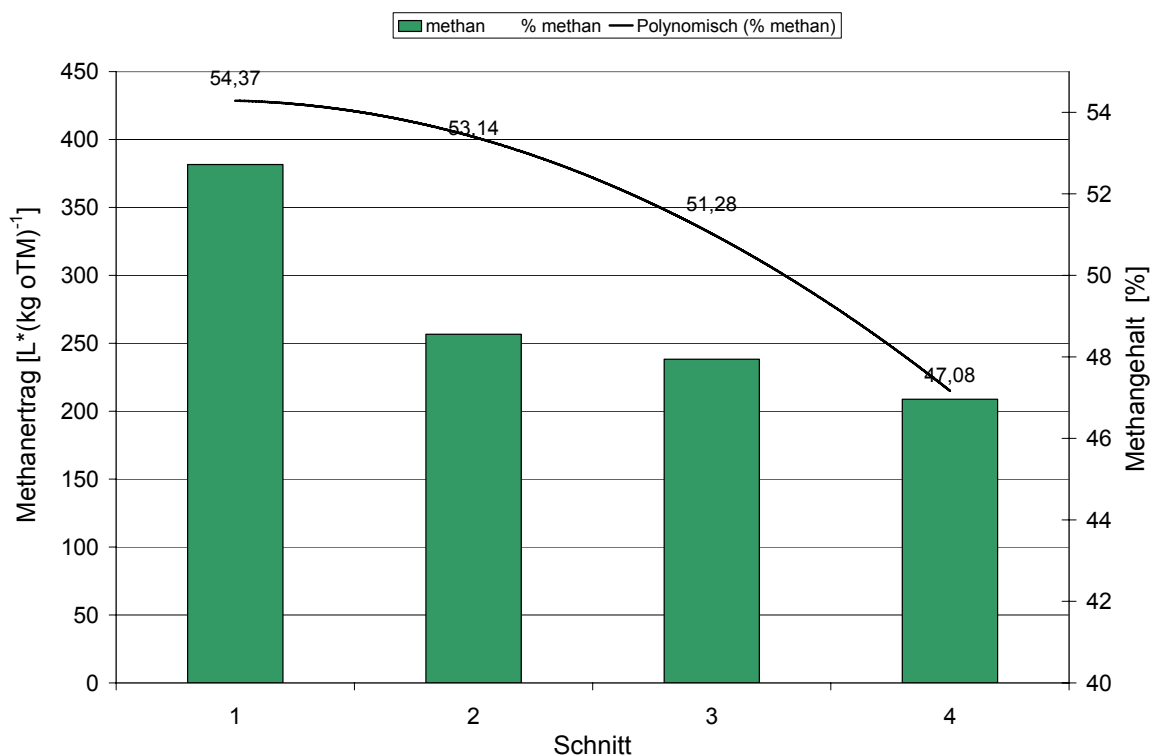


Abbildung 15: Methanertrag Wieserispe Lato in Abhängigkeit des Schnittes

Bei den Gräsern hat sich gezeigt, dass der Trockenmasseertrag je Hektar die ausschlaggebende Rolle spielt. Die Unterschiede bezüglich der Inhaltsstoffe und deren Verdaulichkeit der verschiedenen Sorten treten in den Hintergrund. Grund dafür ist der niedrige Schwankungsbereich der Methanerträge aus der organischen Trockenmasse und der hohe Unterschied der Trockenmasseerträge je Hektar und Jahr von mehr als 30%.

3.4 Methanerträge anderer Fruchtarten

Bei „anderen Fruchtarten“ handelt es sich um Energiepflanzen oder unkonventionelle Pflanzenarten, die für die Biogasproduktion nutzbar sein könnten. Diese Fruchtarten wurden auf den Versuchsflächen des TFZ in Straubing angebaut und zu bestimmten Terminen geerntet.

In beiden Untersuchungsblöcken wurde der maximale Methanertrag aus der Biomasse bei der Vergärung von Rübenmus erreicht. Die Gaserträge aus den Frischproben und Silagen liegen in einem Wertebereich von 70 bis 354 L Methan je kg oTM (Abbildung 16). Werden diese Erträge mit den Trockenmasseerträgen der verschiedenen Varianten verknüpft, ergibt sich, genau wie bei den Leguminosen, dass die Trockenmasseerträge pro Hektar den dominanten Einfluss auf das Ertragspotenzial ausüben.

Die verschiedenen Arten und Sorten zeigen, dass die Methanhektarerträge aus Frischmaterial von 1.900 bis zu 4.900 m³ Methan je Hektar und Jahr schwanken können. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 1.200 bis 4.100 m³ Methan je Hektar und Jahr (Abbildung 17).

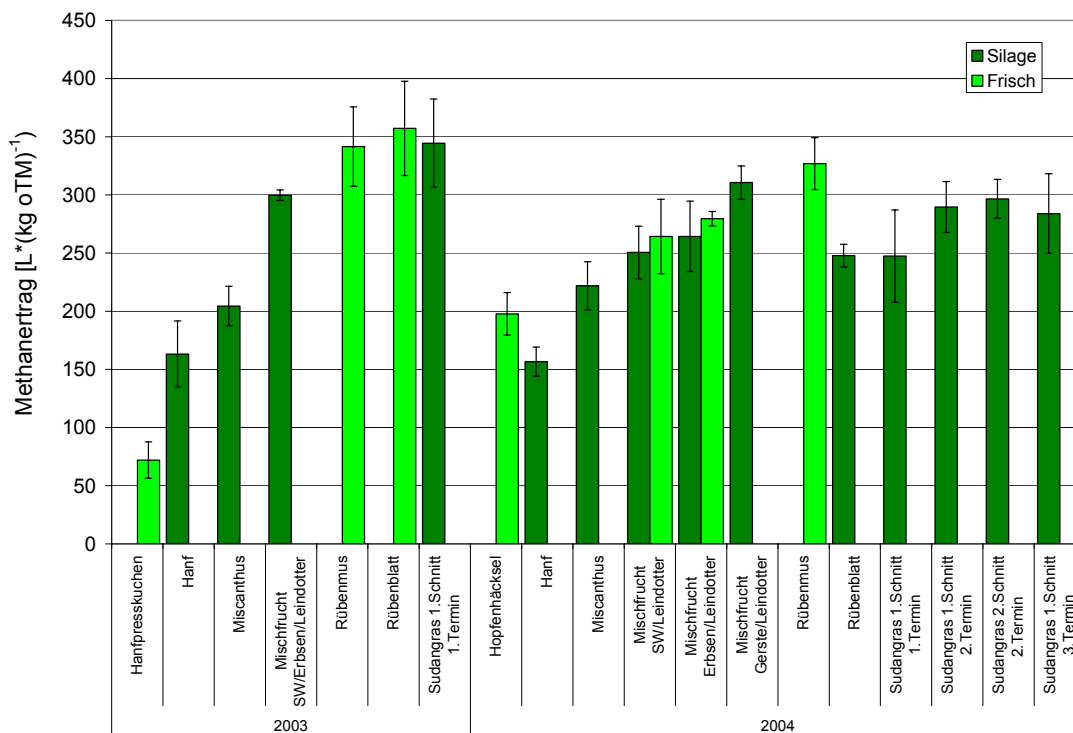


Abbildung 16: Methanertrag „andere Fruchtarten“

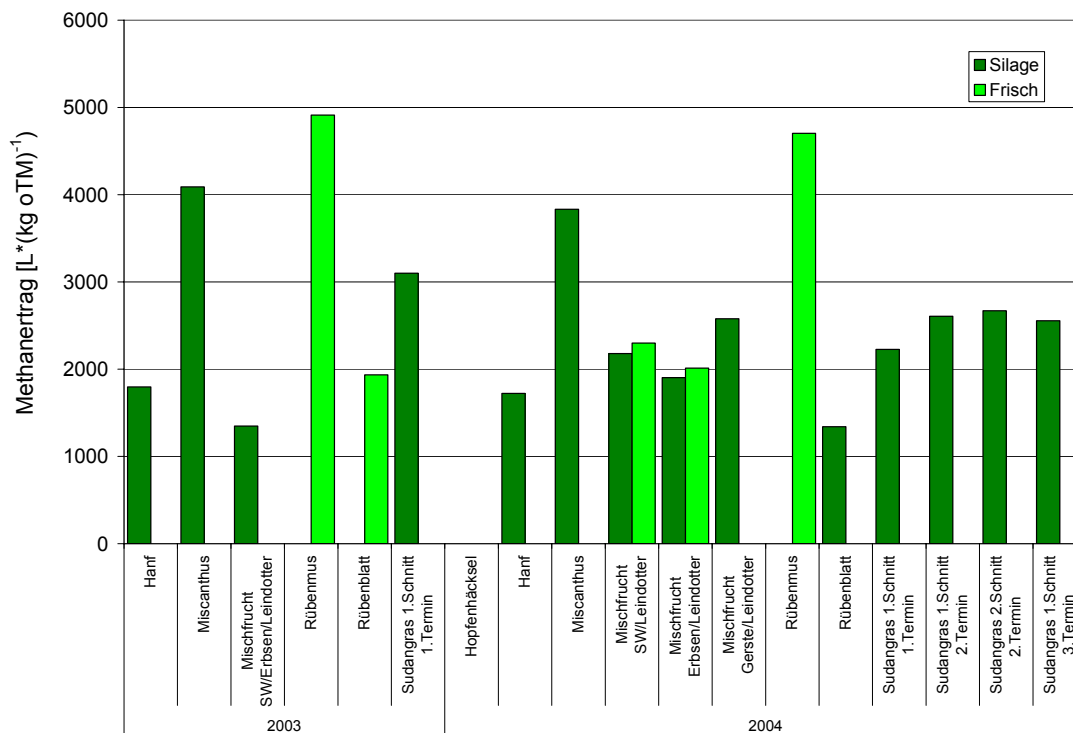


Abbildung 17: Methanhektarertrag andere Fruchtarten

3.5 Methanerträge von Getreide GPS

Bei der Einsatzhäufigkeit der nachwachsenden Rohstoffe stehen die Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) an dritter Stelle. BOXBERGER ET AL. (2006) haben diese Art von NawaRo auf das spezifischen Methanbildungsvermögen und auf den Methanhektarertrag untersucht und sind auf folgende Ergebnisse gekommen:

Die spezifischen Methanerträge liegen bei Weizen, Triticale und Roggen in den Vegetationsstadien „Ährenschieben“ bis „Milchreife“ am höchsten (Abbildung 18). Der Trockenmassegehalt lag zwischen 22 und 34%. Im weiteren Verlauf der Vegetation nahmen die Methanerträge im Allgemeinen ab. Ab dem Vegetationsstadium „Teigreife“ hatten die Gärrohstoffe einen Trockenmassegehalt von mehr als 35% bis 40%. Bei Biomasse mit mehr als 40% Trockenmasse nimmt die Silierfähigkeit ab (BOXBERGER ET AL., 2006).

Werden die Methanhektarerträge betrachtet, ist zu erkennen, dass die späteren Vegetationsstadien bei Weizen einen höheren Wert liefern als die früheren. Bei Triticale und Roggen können die Vegetationsstadien „Ährenschieben“ bis „Milchreife“ als optimal bezeichnet werden (Abbildung 19).

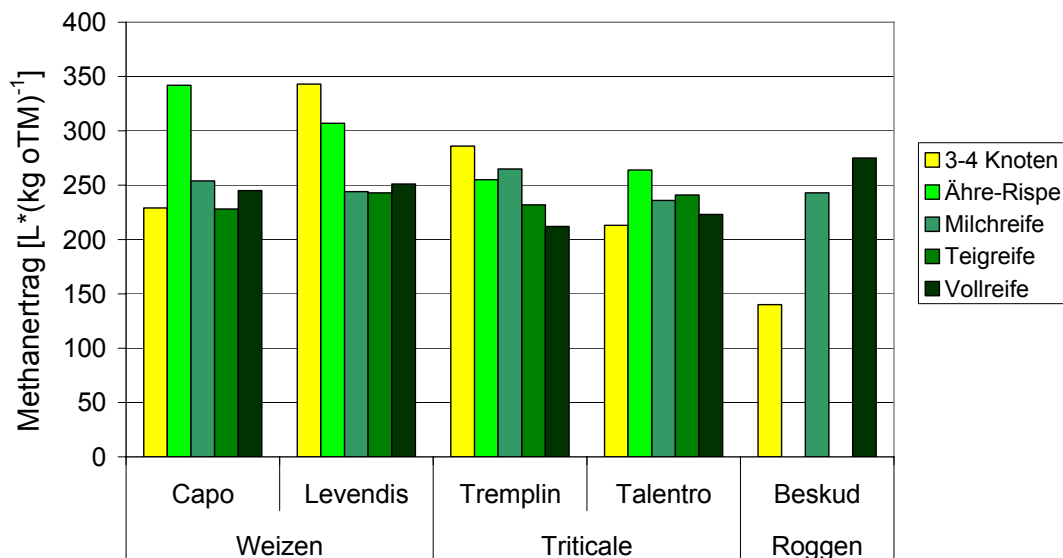


Abbildung 18: Spezifischer Methanertrag von Weizen, Triticale und Roggen im Vegetationsverlauf (BOXBERGER ET AL. 2006)

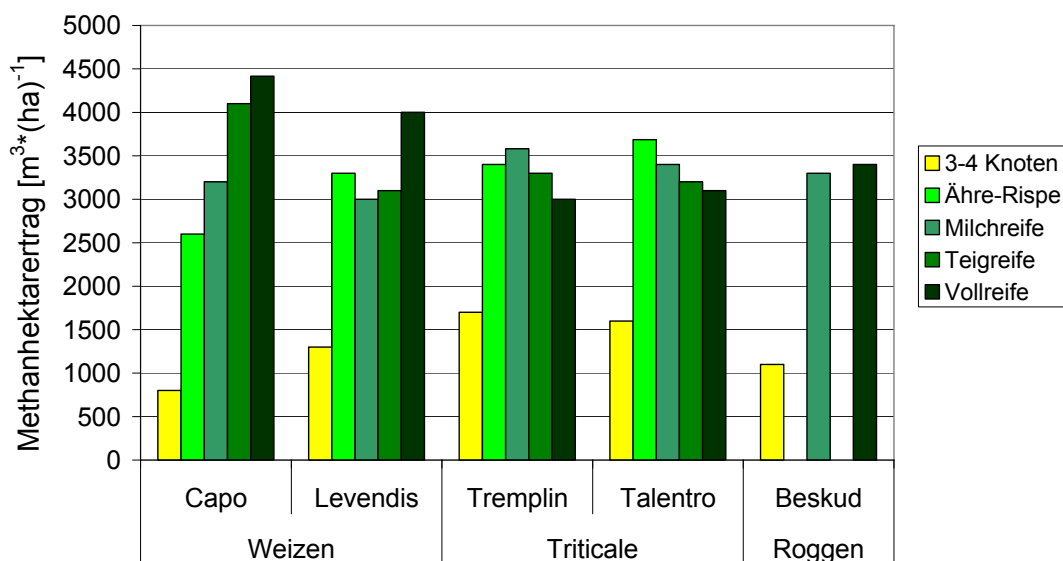


Abbildung 19: Methanhektarertrag von Weizen, Triticale und Roggen im Vegetationsverlauf (BOXBERGER ET AL. 2006)

Für eine nachhaltige Biogaserzeugung aus Energiepflanzen sollten aber nicht Höchsterträge einzelner Kulturarten, sondern Spitzenerträge von standortangepassten und ökologisch ausgewogenen Fruchtfolgesystemen angestrebt werden (AMON, 2003). Kofermentation ist dann sinnvoll, wenn die Erträge aus der Verwertung der Kosubstrate den Aufwand für Bereitstellung, Lagerung und Verwertung in der Biogasanlage sowie die Nutzungskosten der Fläche übersteigen.

Literatur

Amon, Th. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien.

Boxberger, J.; Amon, Th.; Moitzi, G. (2006): Energietechnik (Alternative Energien). In: Jahrbuch Agrartechnik. Band 18, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.

