

---

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

**Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die  
Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben  
Abbau in Biogasreaktoren**

Felipe Luis Kaiser

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Dr.h.c. J. Bauer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer (i.R.)
2. apl. Prof. Dr. F. J. Schwarz
3. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer

Die Dissertation wurde am 26.10.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 21.11.2007 angenommen.

---

Diese vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes  
„Evaluierung der Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen als  
Grundlage für ein EDV-gestütztes Expertensystem für Beratung und Praxis“, gefördert durch  
das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.

---

Meiner Frau  
gewidmet



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Literaturübersicht und Ableitung der Aufgabenstellung.....</b>	<b>18</b>
3.1	Bestimmung der Verdaulichkeit pflanzlicher Inhaltsstoffe .....	18
3.1.1	Bedeutung des Impfmaterials (Inokulum).....	21
3.2	Biogasbildungspotential von Nawaro .....	21
3.2.1	Biogas- und Methanausbeute nach Literaturangaben .....	21
3.2.1.1	Mais.....	22
3.2.1.2	Grünland.....	23
3.2.1.3	Gräser .....	24
3.2.1.4	Andere nachwachsende Rohstoffe .....	24
3.2.2	Biogas- und Methanausbeute nach Berechnungsmodellen .....	26
3.2.2.1	Berechnungsmodell nach Inhaltsstoffen .....	26
3.2.2.2	Berechnungsmodell nach dem Methanenergiewertsystem (MEWS).....	30
<b>4</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>33</b>
4.1	Analyseverfahren zur Qualitätsbestimmung von Pflanzenteilen .....	33
4.1.1	Weender Rohnährstoffanalyse .....	33
4.1.1.1	Rohprotein.....	33
4.1.1.2	Rohfett.....	34
4.1.1.3	Rohfaser .....	34
4.1.1.4	N-freie Extraktstoffe .....	34
4.1.2	Erweiterte Weender-Analyse .....	34
4.1.2.1	NDF.....	35
4.1.2.2	ADF.....	35
4.1.2.3	ADL.....	36
4.1.2.4	Cellulose.....	37
4.1.2.5	Hemicellulose.....	37
4.1.2.6	Lignin .....	37
4.1.3	Physikalische Parameter.....	37
4.1.3.1	Trockensubstanz.....	37

---

4.1.3.2	Organische Trockensubstanz.....	38
4.2	Versuchstechnische Einrichtungen .....	38
4.2.1	Laborfermenteranlage (Weihenstephaner Batch System).....	38
4.2.2	Datenerfassung .....	41
4.2.2.1	Gasertrag .....	41
4.2.2.2	Temperatur- und Druckkorrektur .....	42
4.2.2.3	Gasanalyse.....	42
4.3	Versuchsablauf .....	43
4.3.1	Befüllung der Glasreaktoren .....	43
4.3.2	Berechnung des Biogas- und Methanertrages.....	44
4.4	Testsubstrate.....	47
4.4.1	Mais.....	47
4.4.2	Grünland.....	49
4.4.2.1	Versuchsort Spitalhof / Kempten .....	50
4.4.2.2	Versuchsort Kringell / Passau .....	52
4.4.2.3	Versuchsort Exlarn / Steinach .....	54
4.4.3	Gräser .....	55
4.4.4	Andere Nawaro .....	58
4.4.5	Konservierung der Substrate (Silage) .....	60
4.5	Statistische Auswertung .....	61
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>63</b>
5.1	Validierung der Methode .....	64
5.2	Überblick über die Biogas- und Methanerträge der verschiedenen Substrate .....	67
5.2.1	Mais.....	67
5.2.2	Grünland.....	68
5.2.2.1	Versuchsort Spitalhof / Kempten .....	68
5.2.2.2	Versuchsort Kringell / Passau .....	68
5.2.2.3	Versuchsort Exlarn / Steinach .....	68
5.2.2.4	Alle Standorte.....	69
5.2.3	Gräser .....	69
5.2.4	Andere Nawaro .....	70
5.3	Abhängigkeit der Gaserträge von dem Trockenmasse- und Rohproteingehalt.....	71
5.4	Relation zwischen Methanerträge und Verdaulichkeit der organische Masse.....	74
5.5	Biogas- und Methanerträge der einzelnen abgebauten Inhaltsstoffe .....	75

---

5.5.1	Biogas- und Methanerträge auf Basis der Weender-Analyse .....	75
5.5.2	Biogas- und Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse .....	78
5.6	Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs (Substrat + Inokulum) .....	80
5.6.1	Biogasertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	81
5.6.2	Methanertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	82
5.7	Biogas- und Methanerträge in bezug auf die Frischmasse.....	83
5.7.1	Biogaserträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	83
5.7.2	Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse.....	84
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>86</b>
6.1	Wissenschaftliche Schlussfolgerungen .....	86
6.2	Praxisrelevante Schlussfolgerungen.....	87
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>Summary .....</b>	<b>91</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>101</b>
10.1	Biogas- und Methanerträge aller Substrate .....	101
10.2	Charakterisierung aller Substrate .....	110
10.3	Normalverteilungstest .....	125
10.4	Statistische Auswertungen .....	127
10.4.1	Regressionen für Biogas- und Methanerträge der abgebauten Inhaltsstoffe..	127
10.4.1.1	Weender Analyse – Biogas .....	127
10.4.1.2	Weender Analyse - Methan.....	130
10.4.1.3	Erweiterte Weender Analyse - Biogas .....	133
10.4.1.4	Erweiterte Weender Analyse - Methan .....	136
10.4.2	Regressionen für Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs .....	139
10.4.2.1	Weender Analyse – Biogas .....	139
10.4.2.2	Weender Analyse – Methan .....	142
10.4.2.3	Erweiterte Weender Analyse – Biogas.....	145
10.4.2.4	Erweiterte Weender Analyse – Methan .....	148
10.4.3	Regressionen für Biogas- und Methanerträge in Bezug auf die Frischmasse	151
10.4.3.1	Weender Analyse – Biogas .....	151

---

10.4.3.2	Weender Analyse – Methan .....	157
10.4.3.3	Erweiterte Weender Analyse – Biogas.....	163
10.4.3.4	Erweiterte Weender Analyse – Methan .....	170

---

## Verzeichnis der Abkürzungen

<i>Abkürzung:</i>	<i>Bezeichnung:</i>
°C	Grad Celsius
ADF	Acid Detergent Fibre
ADL	Acid Detergent Lignin
APES	Automated Pressure Evaluation System
AQU	Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
C	Kohlenstoff
C/N	Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
CH <sub>4</sub> -E	Methanenergie im Biogas
CL	Cellulose
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d	Tag
d <sub>E</sub>	Abbaubarkeit der Energie
DE	Abbaubare Energie
DOS	Verdauliche Organische Substanz
EEG	Erneuerbaren-Energien-Gesetz
EWA	Erweiterte Weender-Analyse
FFS	Flüchtige Fettsäuren
FM	Frischmasse
g	Gramm
GE	Bruttoenergie
GP	Ganzpflanze
GPS	Ganzpflanzensilage
h	Stunde
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
HC	Hemicellulose
HFT	Hohenheimer Futterwerttest
IGER	Institute of Grassland and Environmental Research
ILB	Institut für ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
ILT	Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik
IPZ	Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
k	Kilogramm
KJ	Kilojoule
KL	Knaulgras
KS 4,3	Säurekapazität (Pufferkapazität)
l	Liter
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

---

LUZ	Luzerne
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mbar	Millibar
ME	Metabolizable Energy (umsetzbare Energie)
MEW	Methanenergiewert
MEWS	Methanenergiewertsystem
mg	Milligramm
min	Minuten
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
N	Stickstoff
n	Stichprobenumfang
n <sub>CH<sub>4</sub></sub>	Wirkungsgrad der Methanbildung
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe
NDF	Neutral Detergent Fibre
NEL	Nettoenergie-Laktation
NfE	Stickstoff freie Extraktstoffe
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NH <sub>4</sub> -N	Ammoniumstickstoff
NIRS	Nahe Infrarot Spektroskopie
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OR	Organischer Rest
OS	Organische Substanz
oTM	organische Trockenmasse
oTS	organische Trockensubstanz
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
pH- Wert	neg. dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
ppm	parts per million
R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß einer Regression
RKL	Rotklee
RSC	Rohrschwinger
s	Standardabweichung
S	Schwefel
TM	Trockenmasse
TFZ	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
TS	Trockensubstanz
V <sub>k</sub>	Variationskoeffizient
Vol.	Volumen
WA	Weender-Analyse
WB	Bastard Weidelgras

---

WD	Deutsches Weidelgras
WEI	Weidelgras Einjährig
WF	Wiesenfuchsschwanz
WKL	Weißklee
WL	Wiesenlieschgras
WRP	Wiesenrispe
WSC	Wiesenschwingel
WV	Welsches Weidelgras
x	Mittelwert
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XX	Stickstoff freie Extraktstoffe

---

## Abbildungen

Abbildung 1: Hohenheimer Futterwerttestanlage (WILLIAMS, 2000). .....	19
Abbildung 2: Druckmessgerät mit Laborflasche und Dattenlogger (WILLIAMS, 2000). .....	19
Abbildung 3: „Automated Pressure Evaluation System“ (APES) (WILLIAMS, 2000). .....	20
Abbildung 4: Klimaschrank, Glasreaktoren und Milligascounter®. .....	39
Abbildung 5: Laborfermenteranlage. ....	39
Abbildung 6: Skizze der Kleinlaborfermenteranlage. ....	40
Abbildung 7: Skizze des Milligascounter® (Quelle: RITTER GmbH). .....	41
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Rohdaten des Biogasertrag eines Versuches. ...	45
Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der komulierten Biogaserträge drei verschiedenen Substrate. ....	45
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der komulierten spezifische Methanerträge drei verschiedenen Substrate. ....	46
Abbildung 11: Dauergrünland Versuchsflächen. ....	49
Abbildung 12: Laborsilos in der Halle und im Gewächshaus des IPZ. ....	60
Abbildung 13: Vergleich der berechneten (nach BASERGA) gegenüber den gemessenen Biogaserträgen. ....	65
Abbildung 14: Vergleich der berechneten (nach KIRCHGEßNER) gegenüber den gemessenen Methanerträgen. ....	66
Abbildung 15: Biogas- und Methanertrag der verschiedenen Schnitte der Heuvarianten aus Steinach. ....	69
Abbildung 16: Methanertrag aller Maissorten in Abhängigkeit des Trockenmassegehaltes. ...	72
Abbildung 17: Gasertragsdifferenz zwischen gemessene und berechnete (nach KEYMER) Maissorten. ....	72
Abbildung 18: Methanertrag Weidelgräser in Abhängigkeit des Trockenmassegehaltes. ....	73
Abbildung 19: Methanertrag Weidelgräser in Abhängigkeit des Rohproteingehaltes. ....	74
Abbildung 20: Relation zwischen Methanerträge und Verdaulichkeit der organischen Masse. ....	74
Abbildung 21: Einfluss des ADL-Gehaltes auf den Methanertrag. ....	80
Abbildung 22: Normalverteilungstest auf Biogas in Abhängigkeit der Konservierung .....	125
Abbildung 23: Normalverteilungstest auf Methan in Abhängigkeit der Konservierung .....	126

---

## Tabellen

Tabelle 1: Spezifische Methan- und Biogausausbeuten aus Mais nach Literaturangaben. ....	22
Tabelle 2: Spezifische Methan- und Biogausausbeuten aus Grünland nach Literaturangaben.	23
Tabelle 3: Spezifische Methan- und Biogausausbeute aus Gräsern nach Literaturangaben.....	24
Tabelle 4: Spezifische Methan- und Biogausausbeuten aus anderen „Nawaro“ nach Literaturangaben. ....	25
Tabelle 5: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt nach BASERGA (1998). ....	28
Tabelle 6: Messprinzip des Gasmessgerätes der Firma AWITE.....	42
Tabelle 7: Mischungsverhältnis der TMR-Komponenten.....	44
Tabelle 8: Biogas- und Methanertrag des dargestellten Beispiels. ....	47
Tabelle 9: Beprobte Maissorten 2003. ....	48
Tabelle 10: Beprobte Maissorten 2004. ....	48
Tabelle 11: Beschreibung der Versuchsstandorte. ....	49
Tabelle 12: Substratbeschreibung der Grünlandvarianten von Spitalhof / Kempten. ....	51
Tabelle 13: Beprobte Varianten 2003 Spitalhof / Kempten. ....	52
Tabelle 14: Beprobte Varianten 2004 Spitalhof / Kempten . ....	52
Tabelle 15: Substratbeschreibung der Grünlandproben von Kringell / Passau.....	53
Tabelle 16: Beprobte Varianten 2003 Kringell / Passau. ....	53
Tabelle 17: Beprobte Varianten 2004 Kringell / Passau. ....	53
Tabelle 18: Substratbeschreibung der Grünlandprobe von Exlarn / Steinach. ....	54
Tabelle 19: Beprobte Varianten 2003 Exlarn / Steinach. ....	54
Tabelle 20: Beprobte Gräser 2003. ....	55
Tabelle 21: Beprobte Weidelgräser 2004. ....	55
Tabelle 22: Beprobte Gräser 2004. ....	56
Tabelle 23: Beprobte Leguminosen 2004. ....	57
Tabelle 24: Beprobte Nawaro 2003. ....	58
Tabelle 25: Beprobte Nawaro 2004. ....	59
Tabelle 26: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Maissorten (Kap. 4.4.1). ....	67
Tabelle 27: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Grünlandaufwüchsen (Kap. 4.4.2). ....	69
Tabelle 28: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Gräser (Kap. 4.4.3). ....	70
Tabelle 29: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Nawaro (Kap. 4.4.4). ....	71
Tabelle 30: Regressionskonstanten für Biogas aus den abgebauten Inhaltsstoffe (WA).....	76

---

Tabelle 31: Regressionskonstanten für Methan aus den abgebauten Inhaltsstoffen (WA).....	77
Tabelle 32: Regressionskonstanten für Biogas aus den abgebauten Inhaltsstoffen (EWA) ....	78
Tabelle 33: Regressionskonstanten für Methan aus abgebauten Inhaltsstoffen (EWA).....	79
Tabelle 34: Regressionskonstanten für Biogas aus gesamtem Input (EWA).....	81
Tabelle 35: Regressionskonstanten für Methan aus gesamtem Input (EWA) .....	82
Tabelle 36: Regressionskoeffizienten für Biogas aus g/kg FM (EWA).....	84
Tabelle 37: Regressionskoeffizienten für Methan aus g/kg FM (EWA) .....	85
Tabelle 38: Biogas- und Methanerträge der beprobten Maissorten 2003 .....	101
Tabelle 39: Biogas- und Methanerträge der beprobten Maissorten 2004 .....	102
Tabelle 40: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Spitalh. / Kempten .	102
Tabelle 41: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2004 Spitalh./ Kempten ..	103
Tabelle 42: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Kringell / Passau....	103
Tabelle 43: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2004 Kringell / Passau....	104
Tabelle 44: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Exlarn / Steinach....	104
Tabelle 45: Biogas- und Methanerträge der beprobten Gräser 2003 .....	105
Tabelle 46: Biogas- und Methanerträge der beprobten Weidelgräser 2004.....	105
Tabelle 47: Biogas- und Methanerträge der beprobten Gräser 2004 .....	106
Tabelle 48: Biogas- und Methanerträge der beprobten Leguminosen 2004 .....	107
Tabelle 49: Biogas- und Methanerträge der beprobten Nawaro 2003 .....	108
Tabelle 50: Biogas- und Methanerträge der beprobten Nawaro 2004 .....	108
Tabelle 51: Charakterisierung der beprobten Maissorten 2003 .....	110
Tabelle 52: Charakterisierung der beprobten Maissorten 2004 .....	111
Tabelle 53: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Spitalhof / Kempten.....	112
Tabelle 54: Charakterisierung der beprobten Varianten 2004 Spitalhof / Kempten.....	114
Tabelle 55: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Kringell / Passau.....	114
Tabelle 56: Charakterisierung der beprobten Varianten 2004 Kringell / Passau.....	115
Tabelle 57: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Exlarn / Steinach.....	116
Tabelle 58: Charakterisierung der beprobten Gräser 2003 .....	116
Tabelle 59: Charakterisierung der beprobten Weidelgräser 2004.....	117
Tabelle 60: Charakterisierung der beprobten Gräser 2004 .....	119
Tabelle 61: Charakterisierung der beprobten Leguminosen 2004 .....	121
Tabelle 62: Charakterisierung der beprobten Nawaro 2003 .....	122
Tabelle 63: Charakterisierung der beprobten Nawaro 2004 .....	124

---

# 1 Einleitung und Problemstellung

Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat die Produktion und Nutzung von Biogas in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Energieproduktion in Form von Strom und Wärme bietet den Landwirten die Möglichkeit zu einem weiteren Einkommen, und macht sie weniger abhängig von staatlichen Subventionen, die wegen sinkender Einkommen in der Nahrungsmittelproduktion bisher als notwendig erachtet werden.

Durch den Bau und Betrieb von Biogasanlagen ergeben sich neben den wichtigen ökologischen Auswirkungen in den Bereichen des Umwelt- und Klimaschutzes, auch wesentliche sozioökonomische Vorteile. Die Entwicklung ländlicher Räume wird dadurch gefördert und neue Arbeitsplätze in ländlichen Regionen werden geschaffen. Für die Betreiber landwirtschaftlicher Biogasanlagen ist außerdem die verbesserte Düngewirkung des vergorenen Düngers und die damit einhergehende Einsparung beim Düngerzukauf von Bedeutung. Zusätzlich ist nach der Ausbringung des Gärrückstandes als Dünger eine wesentliche Minderung der Geruchsbelastung zu erwarten (AMON et al., 2003).

Als Basissubstrat zur Biogaserzeugung wird in der Regel der bei der Tierhaltung auf den Betrieben anfallende Wirtschaftsdünger in Form von Flüssigmist eingesetzt. Wirtschaftsdünger sind aus diesem Blickwinkel hervorragend geeignet, da diese keine Kosten verursachen, sofern sie nicht transportiert werden müssen. Aufgrund ihres relativ geringen Gasbildungspotentials ist es allerdings sinnvoll, zusätzlich andere, energetisch hochwertigere Stoffe gemeinsam mit dem Basissubstrat Gülle zu vergären. Als Kosubstrat wurden in den letzten Jahren zunehmend nachwachsende Rohstoffe („Nawaro“, z.B. Mais, Gras, verschiedene Getreidesorten, etc.) als Inputmaterial eingesetzt.

Zu Fragen der Prozesskinetik, des Stoffverhaltens, der Substrateigenschaften, der Erträge und der ökonomischen Auswirkungen der nachwachsenden Rohstoffe bei Vergärung als Kosubstrat oder als alleinige Einsatzstoffe gibt es bisher weder umfassende wissenschaftliche Untersuchungen noch ausreichende Erfahrungswerte aus der Praxis. Die Auswirkungen sind instabile Prozessverhältnisse, die zu einem unwirtschaftlichen Anlagenbetrieb bis hin zum Totalausfall führen können. Die derzeit zur Verfügung stehenden Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der potenziellen Gaserträge sind sehr heterogen. Diese Daten weisen sehr große Schwankungen auf und sind bis heute noch nicht auszureichend validiert. Auch die Frage der

---

Übertragbarkeit von Laborfermenterergebnissen auf Praxisbiogasanlagen ist bisher noch nicht beantwortet, denn bislang wurden die Untersuchungen mit nicht standardisierten Laborfermentern und mit teilweise sehr unterschiedlichen Impfsubstraten (Startbiozönose) durchgeführt.

Die VDI-Richtlinie 4630 (VDI, 2004) zur Durchführung anaerober Gärversuche von organischen Stoffen im Labormaßstab hat diese Problematik untersucht und mit entsprechenden Regeln wichtige Fortschritte geschaffen. Allerdings wurde die Art der Versuchsanlagen und die benutzten Impfsubstrate nicht begrenzt. Daher ist es nahezu immer noch nicht oder nur schwer möglich, die Ergebnisse von verschiedenen Forschungseinrichtungen direkt zu vergleichen.

Alternativ könnte deshalb auf Untersuchungen aus der Tierernährung zurückgegriffen werden, wo die Verdaulichkeiten einzelner Futterpflanzen ermittelt und in sehr detaillierten Futterwerttabellen zusammengefasst wurden. Vergleichbare Werte für die Verdaulichkeit bzw. das Methanertragspotenzial nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen, auf die der Anlagenbetreiber zurückgreifen könnte, existieren bisher nicht. Es drängt sich daher die Frage auf, in wie weit das von den Futterwerttabellen der Tierernährung bekannte Arten- und Sortenranking auch für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen bei der Biogaserzeugung gilt, oder ob hier andere Merkmalsgewichtungen vorzunehmen sind.

---

## 2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung des Biogas- und Methanertragspotenzials ausgewählter Arten und Sorten von nachwachsenden Rohstoffen einschließlich einer vollständigen Input- und Outputanalyse. Damit sollte der Einfluss der unterschiedlichen Inhaltsstoffe auf die Verdaulichkeit dieser Substrate beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren untersucht werden.

Für diese Untersuchungen sollten die aus der Tierernährung bekannten Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeiten von Futterstoffen auf den Biogasprozess übertragen und modifiziert werden.

Außerdem sollte geprüft werden, ob die erweiterte Weender-Analyse (EWA) im Vergleich zur normalen Weender-Analyse bei nachwachsenden Rohstoffen mehr Informationen über die Verdaulichkeit der organischen Masse liefern kann.

Aufbauend auf diesen Vorgaben wurden drei Teilziele definiert:

Erstes Teilziel dieser Arbeit war es, eine Laborfermentieranlage zu errichten, um eine hohe Anzahl an Substraten ( $n = 206$ ) innerhalb eines begrenzten Zeitraums von drei Jahren testen zu können. Die Anlage sollte möglichst praxisrelevante Werte liefern und wurde dementsprechend konzipiert.

Als zweites Teilziel sollten die verschiedenen nachwachsenden Rohstoffe in vorgegebenen Zeitfenstern geerntet, konserviert und schließlich in der Laborfermentieranlage vergoren werden. Dazu sollten die Substrate sowohl als frische Ware als auch als Silage vergoren und chemisch analysiert werden.

Schließlich sollten die so erhaltenen Daten aus mehr als 1.300 Gärversuchen mit Hilfe entsprechender statistischer Methoden ausgewertet und eingeordnet werden.

---

## **3 Literaturübersicht und Ableitung der Aufgabenstellung**

### **3.1 Bestimmung der Verdaulichkeit pflanzlicher Inhaltsstoffe**

In der Tierernährung werden seit mehreren Jahren verschiedene In-vitro-Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe von Futtermitteln verwendet. Wichtige Beispiele sind:

Als eine der ältesten und am meisten verwendeten Methode ist die Zwei-Stufen-Methode nach TILLEY & TERRY (1963) für Futterpflanzen anzusehen. In dieser Methode wird der Abbauvorgang in einem Wiederkäuer simuliert, in dem in einer ersten Stufe eine Fermentation mit Pansensaft und in einer zweiten Stufe mit Pepsin erfolgt. Der zweite Schritt wurde von VAN SOEST (1985) modifiziert und entsprechend verbessert.

Bei der Bestimmung der Verdaulichkeit nach GOERING & VAN SOEST (1970) benutzt man 100 ml Erlenmeyerkolben, in welche jeweils 0,5 g Probenmaterial eingewogen und in einem thermostatischen, auf 39°C erwärmten Wasserbad, mittels Edelstahlklammerhorden auf einem Schüttelboden festgeklemmt sind. Die Kolben werden mit einem Gummistopfen verschlossen, der zwei Öffnungen aufweist. Eine dient der Begasung mit CO<sub>2</sub> vor der Inkubation und der Ableitung von Biogas während der Fermentation. Die zweite Öffnung ermöglicht das Einfüllen der fertigen Pansensaft-Mediummischung und wird danach verschlossen (OHLDE, 1991).

Der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) ist eine Methode zur standardisierten Schätzung des Energiegehaltes von Konzentraten in der Milchviehfütterung (POTTHAST, 1989; MENKE & STEINGASS, 1987; STEINGASS & MENKE, 1986). Die Inkubation erfolgt in Glasspritzen mit einem Volumen von 100 ml, die in einem Trockenschrank bei der für den Gasbildungstest geltenden Standardtemperatur von 39°C gehalten werden (Abbildung 1) und reicht über einen Zeitraum von 96 Stunden (KAISER, 1992).

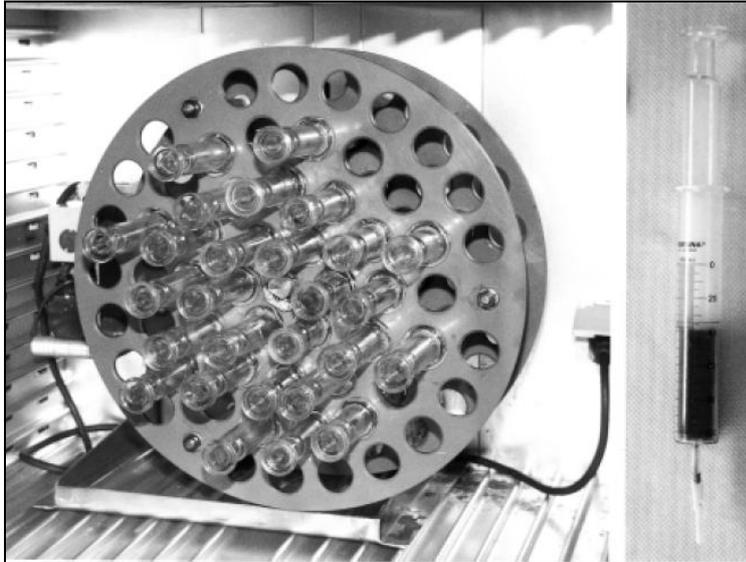


Abbildung 1: Hohenheimer Futterwerttestanlage (WILLIAMS, 2000).

Eine neue Methode wurde von THEODOROU et al. vom Institute of Grassland and Environmental Research (IGER) in Großbritannien im Jahr 1991 beschrieben. Bei dieser Methode wird der Druck, den die Gasproduktion im „head-space“ der Laborflasche produziert regelmäßig gemessen (jede 3. bis 4. Stunde in den ersten 24 Stunden und mit geringerer Frequenz bis zum Versuchende in 120 bis 144 Stunden). Nach jeder Druckmessung wird das produzierte Gas entnommen und analysiert. Die kumulierte Gasproduktion entspricht der Fermentationskinetik des untersuchten Substrats (Abbildung 2).

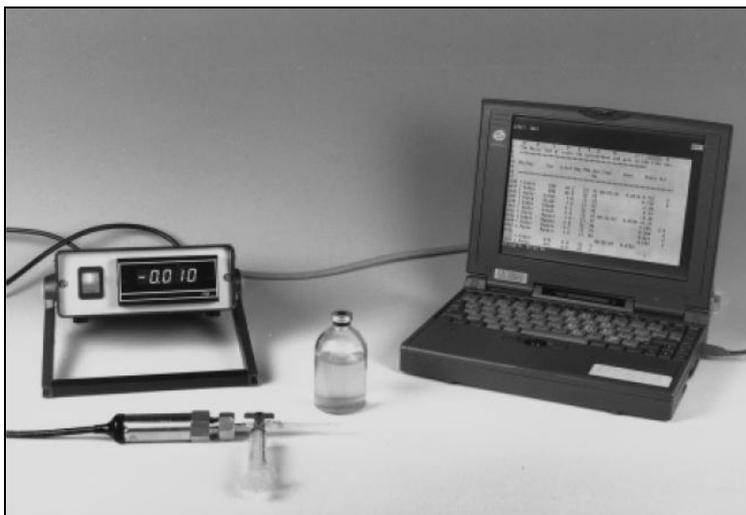


Abbildung 2: Druckmessgerät mit Laborflasche und Dattenlogger (WILLIAMS, 2000).

Eine automatisierte Version, „Automated Pressure Evaluation System“ (APES) genannt, wurde vom IGER im Jahr 1995 entwickelt (DAVIES et al., 1995). Nach jede Druckmessung

---

wurde die entsprechende Gasproduktion durch ein elektrisches Ventil automatisch entnommen, wodurch die Frequenz der Messungen erhöht werden konnte. Dieses automatisierte System konnte bis zu 50 Laborflaschen parallel testen, die zusammen an einem PC für kontinuierliches Monitoring angeschlossen waren (Abbildung 3).

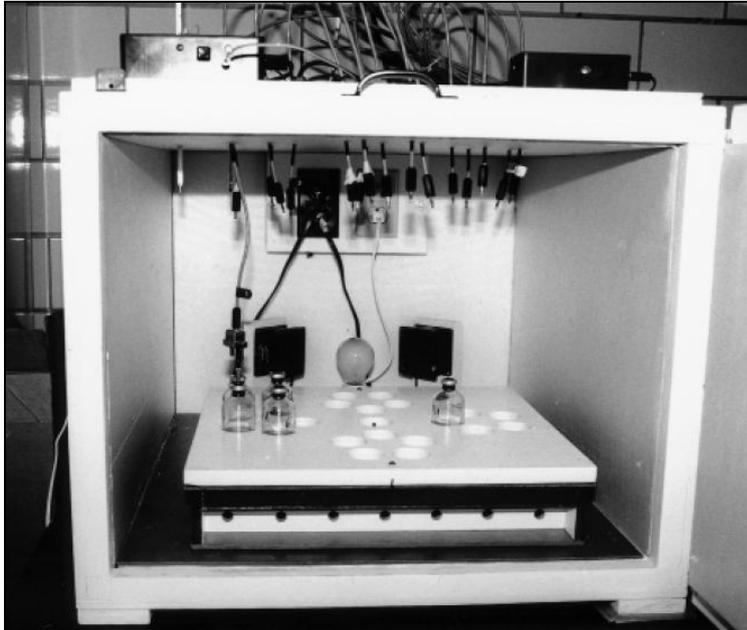


Abbildung 3: „Automated Pressure Evaluation System“ (APES) (WILLIAMS, 2000).

Das RUSITEC-System ist ein Pansensimulationsmodell, das vom Prinzip her von CZERKAWSKI & BRECKENRIDGE (1977) entwickelt wurde. Es handelt sich um ein kontinuierlich über längere Versuchszeiträume laufendes *in vitro*-System, bei dem in sechs parallel betriebenen 1 Liter-Fermentationsbehältern der Stoffwechsel pansenstämmiger Mikroorganismen simuliert werden kann. Diese Fermentationsbehälter, die einen kontinuierlichen Pufferzufluss haben, stehen in einem Wasserbad, so dass die Pansensimulation bei einer gleichbleibenden Temperatur von 39°C abläuft (SCHLAGHECK, 2001). Der genaue Aufbau sowie die Funktionsweise des Systems ist der Dissertation von DA COSTA GOMEZ (1999) zu entnehmen.

Bei allen aufgezeigten Methoden in der Tierernährung werden komplette Input- und Output-Analysen durchgeführt, um Verdaulichkeiten der Inhaltsstoffe von Futtermitteln zu bestimmen. Alle Methoden benutzen Pansensaft als Inkubationsmedium oder Impfmateriale (Inokulum), das aus fistulierten Wiederkäuern (Donoren) stammt.

---

### **3.1.1 Bedeutung des Impfmaterials (Inokulum)**

KAISER (1992) konnte nachweisen, dass die Rationsgestaltung bzw. Nährstoffversorgung der Donoren einen signifikanten Einfluss auf die Gasbildung der inkubierten Futtermittel bei der HFT-Methode ausübte. Auch die Umgebungstemperatur der Donoren spielte eine wesentliche Rolle. Die Gasbildung verschiedener Futtermittel war bei „Strohpannsensaft“ als Inokulum am Anfang langsamer aber nach 72 Stunden höher als bei „Kraftfutterpannsensaft“.

Daher ist es wichtig bei langjährigen Testreihen, in denen die Verdaulichkeiten der Inhaltsstoffe verschiedener Substrate und somit die Biogas- und Methanausbeute mit Batch-Versuchen ermitteln werden, ein Impfmateriale zu verwenden, das für alle Versuche gleichbleibende Qualität und mikrobiologische Zusammensetzung bzw. Aktivität besitzt. Erst so ist es möglich, die verschiedenen Verdaulichkeiten bzw. Biogas- und Methanausbeuten vergleichen zu können. Zu diesem Zweck wurde für die eigenen Experimente ein Standardinokulum angezogen, mit dem in Folge alle Fermentationsversuche durchgeführt wurden.

## **3.2 Biogasbildungspotential von Nawaro**

### **3.2.1 Biogas- und Methanausbeute nach Literaturangaben**

Die Angaben in der Literatur über die spezifische Gasausbeute von Energiepflanzen weisen große Schwankungsbreiten auf (MATTHIAS, 2002). Bisherige Untersuchungen zum Biogas- bzw. Methanbildungsvermögen von Energiepflanzen wurden unter verschiedenen methodischen Rahmenbedingungen durchgeführt. Sie sind deswegen nur eingeschränkt vergleichbar und insgesamt nicht ohne weiteres auf praktische Verhältnisse übertragbar. Auch die Versuchsergebnisse sind nicht direkt vergleichbar, da die Erträge nicht immer unter Normbedingungen angegeben sind und keine Angaben vom benutzten Impfmateriale gemacht werden. Angaben zu den wichtigen Inhaltsstoffen der eingesetzten Rohstoffe sind nur vereinzelt zu finden. Rohprotein, Rohfett, Rohfaser,  $\text{NH}_4$ -Gehalt und pH-Wert prägen den Verlauf der Methangärung. Oftmals ist auch nur der Biogasertrag angegeben. Für die Energiegewinnung entscheidend ist aber auch der Methangehalt im Biogas. Der Methangehalt unterliegt jedoch je nach Gärbedingungen starken Schwankungen (AMON et al., 2003).

Bei den meisten Versuchen wurde die Van-Soest-Fraktion (siehe Kapitel 4.1.2) nicht untersucht oder nicht veröffentlicht, obwohl verschiedene Autoren gleicher Meinung sind, dass der Lignocellulose-Komplex eine negative Wirkung auf der Verdaulichkeit des organischen Anteils der Energiepflanzen haben kann (AMON et al., 2003; KRIEG & FISCHER, 2002; EDELMANN, 2001; GALLERT & WINTER, 1998). Die Inkrustierung von abbaubaren Komponenten, z.B. von Cellulose durch Lignin wirkt sich dabei nachteilig auf den anaeroben Abbau und die Biogaserzeugung aus, da nur die frei liegenden Anteile dem mikrobiellen Abbau zugänglich sind (JÄGER, 2002; WEILAND, 2001). Bei den Versuchen von AMON et al. (2003) wurde die Van-Soest-Fraktion untersucht, aber die Ergebnisse beziehen sich nur auf die Weender-Analyse (WA) (siehe Kapitel 4.1.1) und es wurden keine Rückschlüsse auf den Lignocellulose-Komplex gezogen.

Nachfolgend werden die Biogas- und Methanausbeuten aus Batch-Versuchen nach den Literaturangaben dargestellt. Um diese Darstellung für den Leser zu vereinfachen, werden die Energiepflanzen in vier Gruppen geteilt: Mais, Grünland, Gräser und andere „Nawaro“. Nach dieser Einteilung werden später auch die Ergebnisse und Auswertungen dieser Arbeit durchgeführt.

### 3.2.1.1 Mais

Wegen der hohen Bedeutung in Energiefruchtfolgen wurde Mais bis heute am besten untersucht. Wie in Tabelle 1 zu erkennen ist, sind die Schwankungsbreiten der Literaturangaben ziemlich hoch. Die Biogaserträge liegen zwischen 400 und 1160 l\*(kg oTM)<sup>-1</sup>. Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist der Energiegehalt von Biogas noch wichtiger und hier liegen die Methanerträge in einer noch größeren Spannweite von 195 bis 745 l\*(kg oTM)<sup>-1</sup> (Tabelle 1).

Tabelle 1: Spezifische Methan- und Biogasausbeuten aus Mais nach Literaturangaben.

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Mais		397	POUCHET et al. 1998
Maispflanze	750	480	JÄKEL 2002
Maispflanze		342	NALLATHAMBI 1997
Maissilage		284-304	ZAUNER & KÜNTZEL 1986
Maissilage	730-1129	480-745	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Maissilage	587	350	JÄKEL 2002
Maissilage	720-850		LINKE & VOLLMER 2002b

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Maissilage		330-400	OECHSNER et al. 2003
Maisstroh	500		BASERGA 2000
Maisstroh	658	450	JÄKEL 2002
Maisstroh		600-700	KUHN 1995
Silomais		422	LINKE et al. 1999
Silomais	400-550		GRAF 2003
Silomais	730-1130	485-751	HEIERMANN et al. 2002
Silomais	820-1160		LINKE & VOLLMER 2002
Silomais	762	400	OECHSNER et al. 2003b
Silomais	680-730	380-408	SEDELMEIER 2003
Silomais	747	404	WEILAND 2004
Silomais		195-375	AMON et al. 2003

### 3.2.1.2 Grünland

Von allen Substraten ist Grünland am schwierigsten zu vergleichen. Die Gärqualität ist standortspezifisch und die Bewirtschaftungsintensität spielt zusätzlich eine sehr wichtige Rolle (AMON et al., 2005). Deswegen liegen die Schwankungsbreiten der Laborversuche von 128 bis 520 l CH<sub>4</sub>\*(kg oTM)<sup>-1</sup> im Rahmen der Erwartungen (Tabelle 2), bieten aber auch keine verlässlichen Berechnungsgrundlage für Wirtschaftlichkeitsrechnungen.

Tabelle 2: Spezifische Methan- und Biogasausbeuten aus Grünland nach Literaturangaben.

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Gras	678-929		MÄHNERT et al. 2002
Gras	512	350	JÄKEL 2002
Gras		209	NALLATHAMBI 1997
Grasmischungs-Silage		298-315	ZAUNER & KÜNTZEL 1986
Grassilage	500-600		BASERGA 2000
Grassilage	567	400	JÄKEL 2002
Grassilage		450-520	KUHN 1995
Gras-Anwelksilage		433	LINKE et al. 1999
Grünschnitt		300-500	KUHN 1995
Heu	500		BASERGA 2000
Wiesengras	700		LINKE & VOLLMER 2002b
Wiesengras		128-392	AMON et al. 2005

### 3.2.1.3 Gräser

Bei den einzelnen Gräserarten gibt es noch wenige veröffentlichte Vergärungsversuche und die Werte liegen ziemlich weit auseinander. Zum Beispiel gibt es bei Klee gras 5 Literaturangaben und die Methanerträge weisen einen Unterschied von mehr als 100% auf. Die Werte liegen zwischen 237 und 500 l CH<sub>4</sub>\*(kg oTM)<sup>-1</sup>. Bei Luzerne liegen die Angaben zwischen 240 und 498 l CH<sub>4</sub>\*(kg oTM)<sup>-1</sup> bei 4 Veröffentlichungen (Tabelle 3). Die Publikation von MÄHNERT et al. (2002) ist die einzige, in der verschiedene Gräser intensiv untersucht, sowie unterschiedliche Erntetermine analysiert und auch die Differenz zwischen frischer und silierter Ware untersucht wurde.

Tabelle 3: Spezifische Methan- und Biogasausbeute aus Gräsern nach Literaturangaben.

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Bermudagrass		137-228	NALLATHAMBI 1997
Klee gras		350	POUCHET et al. 1998
Klee gras	500-650		BASERGA 2000
Klee gras	504	300	JÄKEL 2002
Klee gras		400-500	KUHN 1995
Klee gras Mischung		237-390	AMON et al. 2003
Knaut gras	600		LINKE & VOLLMER 2002b
Knaut gras	700-800	360	MÄHNERT et al. 2002
Luzerne		340	POUCHET et al. 1998
Luzerne		432	LINKE et al. 1999
Luzerne	540-600	340-408	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Luzerne-Silage	680-790	449-498	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Luzerne-Silage		240	ZAUNER & KÜNTZEL 1986
Rohrschwengel	700-900	315	MÄHNERT et al. 2002
Rotschwengel	750-850	450	MÄHNERT et al. 2002
Weidel gras	820-950	410	MÄHNERT et al. 2002
Weidel gras		390-409	POUCHET et al. 1998
Wiesenfuchsschwanz	750-870	300	MÄHNERT et al. 2002
Wiesenliesch gras	600-820	370	MÄHNERT et al. 2002
Wiesenschwengel	720-920	400	MÄHNERT et al. 2002

### 3.2.1.4 Andere nachwachsende Rohstoffe

Als andere „Nawaro“ werden Getreidekörner, Ganzpflanzensilage (GPS) und verschiedene Exoten bezeichnet. Die am häufigsten untersuchte Pflanzenart dieser Rubrik sind die Rüben

als Frucht, Blattsilage und GPS. Wie bei den anderen Gruppen sind hier auch die Schwankungsbreiten sehr hoch (Tabelle 4).

Tabelle 4: Spezifische Methan- und Biogasausbeuten aus anderen „Nawaro“ nach Literaturangaben.

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Futterroggen-Grümgut		431	LINKE et al. 1999
Futterrüben		411-430	LINKE et al. 1999
Futterrüben	750		SEDELMEIER 2000
Futterrüben	400-550		GRAF 2003
Futterrüben	695	400	OECHSNER et al. 2003b
Futterrüben	846	449	WEILAND 2004
Gerste GP	651-820	384-525	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Gerste GPS	745-987	454-690	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Getreidestroh	250-350		BASERGA 2000
Hafer		365	POUCHET et al. 1998
Haferstroh	330	198	JÄKEL 2002
Hafer		295	NALLATHAMBI 1997
Hanf	360	216	JÄKEL 2002
Hanf-Silage		409	LINKE et al. 1999
Hirse		310	OECHSNER et al. 2003
Miscanthus	470	282	JÄKEL 2002
Raps		336	POUCHET et al. 1998
Rapsstroh	198	119	JÄKEL 2002
Roggen GP	490-675	290-419	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Roggen GPS	787	520	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Roggenstroh		409	LINKE et al. 1999
Roggenstroh	284	170	JÄKEL 2002
Rübenblatt		290	OECHSNER et al. 2003
Rübenblatt	400-500		BASERGA 2000
Rübenblatt		400-500	KUHN 1995
Sonnenblumen		230	OECHSNER et al. 2003
Sonnenblumenblätter	300	180	JÄKEL 2002
Sorgum		295-372	POUCHET et al. 1998
Sorgum		420	NALLATHAMBI 1997
Triticale GP	600-800	300-560	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Triticale GPS	795-866	565-606	HEIERMANN & PLÖCHL 2002
Weizen		384	POUCHET et al. 1998
Weizenstroh	336	202	JÄKEL 2002
Weizenstroh		255-327	NALLATHAMBI 1997
Wicken-Silage		323	ZAUNER & KÜNTZEL 1986

Energiepflanze	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]	Quelle
Wintergerste		420	LINKE et al. 1999
Winterroggen		419	LINKE et al. 1999
Zuckerrübensilage	820	492	JÄKEL 2002
Zuckerrübensilage	950		LINKE & VOLLMER 2002b
Zuckerrübenblatt		360	NALLATHAMBI 1997
Zuckerrübenblatt	505	340	JÄKEL 2002
Zuckerrübenblattsilage		381	NALLATHAMBI 1997
Zuckerrübenblattsilage		294	ZAUNER & KÜNTZEL 1986

Mit allen diesen Literaturangaben ist es unmöglich, für irgendeine Pflanzenart oder Sorte eine entsprechende Wirtschaftlichkeits- oder Planungsberechnung durchzuführen. Aus diesem Grund wurden Berechnungsmodelle auf theoretischer Basis erstellt, um damit verlässlichere Werte liefern zu können.

### 3.2.2 Biogas- und Methanausbeute nach Berechnungsmodellen

Für viele Substrate gibt es leider keine Literaturangaben zu Gasausbeuten und Methangehalten oder die genannten Werte weisen so große Spannen auf, dass fast jedes gewünschte Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung möglich und begründbar ist.

Die Messmethodik und die Struktur von gemessenen und erhobenen Daten zu Gaserträgen unterschiedlicher Substrate lassen eine gesicherte Ableitung für die Praxis derzeit noch nicht zu. Es wird daher empfohlen, als Planungsgrundlage für die Praxis z.B. für die Auslegung und Dimensionierung von Biogasanlagen, das Gasertragspotential der möglichen Input-Substrate nach einem entsprechend bewährten Kalkulationsmodell abzuschätzen (GRUBER, 2005).

#### 3.2.2.1 Berechnungsmodell nach Inhaltsstoffen

In gewisser Weise ist es möglich eine Biogasanlage mit einem Wiederkäuer zu vergleichen. Der Pansen nimmt hierbei eine entscheidende Rolle ein. In ihm werden durch anaerobe Vergärung des Futters vorwiegend kurzkettige Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure), auch Pansensäuren genannt, gebildet. Daneben bilden sich Methan, Kohlendioxid, Ammoniak und in geringen Mengen langkettigere Fettsäuren (z.B. Milchsäure). Durch die Gliederung des Pansens in einen dorsalen und einen ventralen

Pansensack kann durch eine abwechselnde Kontraktion eine Durchmischung, ähnlich einem Rührwerk, erreicht werden (KIRCHGEBNER, 2004). Außerdem finden sich im Pansen ähnliche Milieubedingungen wie in einem Fermenter vor. Die Temperatur liegt bei ca. 37 – 39°C, einem konstanten pH-Wert von 6,5 und streng anaeroben Bedingungen.

Durch die in der Pansenflora enthaltenen Methanbakterien wird beim Rind während der Verdauung täglich bis zu 150 Liter Methan gebildet (PESTA & MEYER-PITTOFF, 2002). Amerikanische Untersuchungen haben tägliche Methanproduktionen bei Hochleistungskühen von 160 bis 340 Litern ergeben (ISHLER et al., 1996).

Da diese Parallelen zwischen den Verdauungsvorgängen bei Wiederkäuern und den Abbauprozessen einer Biogasanlagen bestehen, kann anhand der eingesetzten Inhaltsstoffe sowie deren Verdaulichkeiten der theoretisch erreichbare Biogasertrag errechnet werden. Nach BASERGA (1998) haben KEYMER & SCHILCHER (1999) eine Methode entwickelt, wie aus den Werten der DLG-Futterwerttabellen auf die Biogausausbeuten einzelner Substrate geschlossen werden kann. Hierbei wird die Gasbildungsrate durch die Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Kohlenhydraten zusammen mit ihren jeweiligen Verdauungskoeffizienten (VQ) bestimmt. Der Kohlenhydratgehalt wird noch in Rohfasergehalt (XF) und Stickstoff freie Extraktstoffe (XX) unterteilt. Die Substrate müssen einzeln analysiert werden, da sich Unterschiede durch Schnittzeitpunkte, Alter und Standorte ergeben.

Aus diesen Vorgaben lassen sich der Gehalt an organischer Trockensubstanz (oTS), die Masse des verdaulichen Rohproteins, des verdaulichen Rohfetts und der verdaulichen Kohlenhydrate pro kg TS errechnen:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \text{oTS-Gehalt} &= \frac{XP + XL + XF + XX}{1000} && [\% \text{TS}] \\
 (2) \quad \text{Verdauliches Rohprotein} &= \frac{XP \times VQ_{XP}}{1000} && [\text{kg/kg TS}] \\
 (3) \quad \text{Verdauliches Rohfett} &= \frac{XL \times VQ_{XL}}{1000} && [\text{kg/kg TS}] \\
 (4) \quad \text{Verdauliche Kohlenhydrate} &= \frac{(XF \times VQ_{XF}) + (XX \times VQ_{XX})}{1000} && [\text{kg/kg TS}]
 \end{aligned}$$

Den einzelnen Stoffgruppen lassen sich spezifische Gasbildungsraten und Methangehalte zuordnen, die sich aus den relativen Kohlenstoffanteilen ergeben.

Tabelle 5: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt nach BASERGA (1998).

	Biogasertrag [ l * (kg) <sup>-1</sup> ]	Methangehalt [ Vol.-% ]
Rohprotein	700	71
Rohfett	1250	68
Kohlenhydrate	790	50

Die Ergebnisse werden mit den oTS Gehalten und den spezifischen Gaserträgen multipliziert und addiert. Daraus erhält man die Gasproduktion und den Methangehalt des Gärsubstrates. So lässt sich auf relativ einfache Weise die zu erwartende Biogasausbeute sowie der Methangehalt im Biogas für beliebige Substrate errechnen.

Allerdings beeinflussen noch weitere Faktoren, wie die Verweilzeit der Substrate im Fermenter, der Trockensubstanzgehalt, evtl. vorhandene Hemmstoffe und die Gärtemperatur den erreichbaren Biogasertrag. So ergibt sich durch Steigerung der Verweilzeit eine bessere Abbauleistung und damit auch eine höhere Gasproduktion. Mit fortschreitender Verweilzeit wird mehr und mehr Methan freigesetzt, was dann den Heizwert des Gasgemisches steigert (SCHATTAUER & WEILAND, 2004).

Trotz dieser Parallelen der Abbauprozesse bei Wiederkäuern und Biogasanlagen, ist es nötig zu erklären, dass die jeweiligen Verdauungskoeffizienten der Inhaltsstoffe der DLG-Futterwerttabellen aus Versuchen der Tierernährungen stammen, in denen die Verweilzeiten bei maximalen 144 Stunden lagen (GIVENS et al., 2000). Bei Biogasanlagen wird jedoch mit mindestens 30 Tage Verweilzeit gerechnet, weshalb man eher mit höheren Verdauungskoeffizienten der Inhaltsstoffe rechnen muss. Des Weiteren zeigen mikrobiologische Untersuchungen auch deutliche Unterschiede zwischen Pansenmikroflora und der Mikrobiologie in Biogasanlagen (ISHLER et al., 1996; KUNST & MURDACK in BÖHNKE et al., 1993; SCHULZ et al., 1982). Als weiterer Unterschied wird bei den Versuchen der Tierernährung versucht, die Methanproduktion so stark wie möglich zu minimieren (DA COSTA GOMEZ, 1999), während bei der Biogasproduktion genau das Gegenteil erwünscht ist.

Die von BASERGA (1998) veröffentlichten Gasausbeuten für die Stoffgruppen Kohlenhydrate, Proteine und Fette werden aus einfachen stöchiometrischen Rechnungen abgeleitet. Für die

---

Stoffgruppe der Kohlenhydrate wurde z.B. Glukose als Modellsubstanz genommen. Aus der Stöchiometrie ergeben sich dann 790 Liter Biogas aus einem Kilogramm, mit einem Methangehalt von 50%. Dieser vereinfachte Ansatz gibt keine hinreichende Beschreibung für die reale Energieverfügbarkeit aus dieser Stoffgruppe, da die zu den Kohlenhydrate zählende Cellulose, Hemicellulose und Lignin sehr unterschiedliche Verdaulichkeiten im anaeroben Milieu aufweisen. Für die Stoffgruppen Proteine und Fette wurde auch nur jeweils eine Modellsubstanz angenommen.

In dieser Richtung hat CZEPUCK et al. (2006) Laborversuche mit Einzelnährstoffe aus den Gruppen der Kohlenhydrate, Fette und der Proteine auf ihre Biogas- und Methanbildung durchgeführt. Dafür wurde Cellulose, Stärke, Rapsöl, Sonnenblumenöl, Gelatine und Kasein vergoren. Die Versuchsergebnisse wurden mit den theoretisch abgeschätzten Methanerträge auf Basis der Substratinhaltsstoffe und der Verdaulichkeit in Pansen verglichen. Anhand der chemischen Zusammensetzung des Substrates wurden rechnerisch Methanerträge abgeschätzt. Hierbei wurde von einer kompletten Abbaubarkeit der Einzelnährstoffe ausgegangen. Bei allen Substraten lagen die berechneten Methanerträge über den gemessenen. Die Labor-Methanerträge wichen bis zu 19% vom chemischen Potenzial ab. Wird die Verdaulichkeit im Pansen zu Grunde gelegt, liegen die berechneten Methanerträge unter den Methanerträgen der gemessenen Werte.

Die Berechnung der Methanerträge auf Basis der chemischen Zusammensetzung der Substrate führt in der Regel zu einem Überschätzen der tatsächliche realisierbaren Methanerträge, da in diesem Berechnungsmodell von einem vollständigen Abbau der Substrate ausgegangen wird (CZEPUCK et al., 2006).

Da sich die Umsetzbarkeit von Fetten und Proteinen im Pansen eines Wiederkäuers und in der Biogasanlage damit deutlich unterscheidet, stellt die aus der Fütterung für Wiederkäuer abgeleitete Verdaulichkeit vor allem für eiweiß- und fettreiche Substrate keinen geeigneten Korrekturfaktor dar. Zudem lassen sich die erforderlichen chemischen Summenformeln von komplex zusammengesetzten Substraten wie Pflanzen und Pflanzenanteilen nur schwer ermitteln (CZEPUCK et al., 2006).

---

### 3.2.2.2 Berechnungsmodell nach dem Methanenergiesystem (MEWS)

Über die Biogasproduktion nach BASERGA (1998) hinaus haben AMON et al. (2003) ein neues Methanenergiesystem (MEWS) erstellt, basierend auf der Weender-Analyse von Futtermitteln (siehe Kapitel 4.1.1). Es stützt sich auf die Kenntnis des Methanbildungsvermögens von Biomasse bei bekannten Inhaltsstoffen. Mit Hilfe dieses Systems soll eine Berechnung der energetischen Leistung von Biogasanlagen in Abhängigkeit der verfügbaren Biomasse ermöglicht werden.

Das System geht von der Bruttoenergie (GE) aus, die als chemische Energie in Biomasserohstoffen enthalten ist. Nach Abzug von ca. 7% des Energiegehaltes der abbaubaren Biomasse (EDELHANN, 2001) erhält man die anaerob abbaubare Energie (DE). Davon wird noch ein geringer Teil an Fermentationswärme, ca. 5% (EDELHANN, 2001), abgezogen. Diese Energie haben die Bakterien für Wachstum, Vermehrung und Mobilität zur freien Verfügung. Nach Abzug dieser Komponenten von der Bruttoenergie erhält man die umsetzbare Energie (ME). Diese ist die maximale Energie, die das System zur Bildung von Methan zur Verfügung steht. Entsprechend diesem Schema des Energiestoffwechsels lassen sich verschiedene Quotienten der Energieausnutzung beschreiben:

$$(5) \quad n_{CH_4} = \frac{CH_4 - E}{GE}$$

$n_{CH_4}$  = Wirkungsgrad der Methanbildung  
 $CH_4 - E$  = Methanenergie im Biogas  
 $GE$  = Bruttoenergie

$$(6) \quad d_E = \frac{DE}{GE}$$

$d_E$  = Abbaubarkeit der Energie  
 $DE$  = Abbaubare Energie  
 $GE$  = Bruttoenergie

Das Methanbildungsvermögen der verschiedenen Nährstoffe in den Gärsubstraten wird mittels multipler Regressionsanalyse berechnet (siehe Kapitel 4.5). Dabei wird nicht das Methanbildungspotential der einzelnen Inhaltsstoffe separat bestimmt, sondern wie diese zusammen in den bestimmten Verhältnissen von den Mikroorganismen umgesetzt werden können.

$$(7) \quad MEW = x_1 \times XP + x_2 \times XL + x_3 \times XF + x_4 \times XX \quad [l \text{ CH}_4 \cdot (\text{kg oTM})^{-1}]$$

---

Die Untersuchungen von AMON et al. (2003) haben sich auf Kleegrasmischungen (n=10) und Silomais (n=30) konzentriert. Dabei wurden die Ergebnisse der Parameter der Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Kleegrasmischungen anhand der Rohnährstoffe nur aus sechs Substraten hochgerechnet. Die Funktion wird wie folgt dargestellt:

$$(8) \quad MEW = 11,77 \times XP + 4,46 \times XL + 5,56 \times XF - 1,60 \times XX \quad [l \text{ CH}_4^*(\text{kg oTM})^{-1}]$$

Die Ergebnisse der Parameter der Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Silomais anhand der Rohnährstoffe wurden aus 30 Substraten hochgerechnet. Die entsprechende Funktion ist:

$$(9) \quad MEW = 28,66 \times XP + 13,63 \times XL + 0,10 \times XF - 0,10 \times XX \quad [l \text{ CH}_4^*(\text{kg oTM})^{-1}]$$

Beide Regressionsgleichungen haben ein hohes Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,99$  für Kleegrasmischungen und von  $R^2=0,98$  für Silomais. Die Fraktion Stickstoff freie Extraktstoffe (XX) hat als Ergebnis der Regressionsgleichung einen negativen Regressionskoeffizient. Dies würde bedeuten, dass der Gehalt an Zucker, Stärke und andere leicht abbaubare Kohlenhydrate, die an der Gerüststruktur der Pflanze nicht beteiligt sind, das System eigentlich belasten und sich negativ auf die Methanproduktion auswirken. Dies ist zum einen wenig plausibel, zum anderen widerspricht ihm die beobachtete hohe Methanproduktion aus Körnern (hoher Anteil an leicht abbaubaren Kohlenhydrate).

AMON et al. (2003) konnten zusätzlich feststellen, dass bei zunehmender Vegetationsentwicklung der Kleegrasmischungen und des Silomais die Methanausbeute sank. Diese Ergebnisse wurden mit der In-vitro-Verdaulichkeit und den NEL-Gehalten (Nettoenergie für Laktation) der Gärgüter beim Einsatz als Grundfutter für Milchvieh verglichen. Die Verdaulichkeit und der NEL-Gehalt steigen entgegen der Methanausbeute im Vegetationsverlauf an. Aus diesem Grund wurde ausgeschlossen, dass aus den Werten der In-vitro-Verdaulichkeit die Methanausbeute bei anaerober Vergärung in Biogasanlagen hochgerechnet werden kann.

In 2006 veröffentlichte AMON et al. eine neue Gleichung für Energiemais. Diese basiert auf der Vergärung von 95 verschiedenen Energiemaissorten und wurde noch einmal auf die Weender-Analyse bezogen. Das Ergebnis hat ebenso wie die vorige Gleichung ein sehr hohes

---

Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,968$ . Ein wichtiger Unterschied zu der 2003 veröffentlichten Gleichung besteht in der Form, dass hier kein Inhaltsstoffsgehalt einen negativen Regressionskoeffizient hat.

$$(10) \quad MEW = 15,27 \times XP + 28,38 \times XL + 4,54 \times XF + 1,12 \times XX \quad [l \text{ CH}_4^*(\text{kg oTM})^{-1}]$$

Bei beiden Veröffentlichungen wird auf eine Problematik nicht näher eingegangen: normalerweise erzeugt eine multiple Regressionsanalyse eine lineare Gleichung mit einer Konstante (als offset). Durch eine bestimmte statistische Routine kann diese Konstante eliminiert werden (siehe Kapitel 4.5), was infolge das Bestimmtheitsmaß allerdings stark positiv beeinflusst. Wie bei den Gleichungen von 2003 wurde auch bei der Veröffentlichung 2006 die Regressionsanalyse durch den Nullpunkt gelegt, so dass die Gleichungen keine Konstante anzeigen. Leider wird in den Veröffentlichungen nicht geklärt, ob die Bestimmtheitsmaße den Regressionsanalysen ohne Nullpunktkorrektur entsprechen, oder die Ergebnisse der korrigierten Regressionen darstellen und damit statistisch weniger Sicherheit besitzen.

Um die Bruttoenergie (GE) aus den Inhalstoffe berechnen zu können, gibt es aus der Tierernährungsforschung eine Schätzgleichung (Gleichung 11; KIRCHGEBNER, 2004). Um diese Bruttoenergie auf Methanertrag umrechnen zu können, wird der Energiegehalt von Methan (35,856 kJ/l) verwendet.

$$(11) \quad GE(kJ) = 23,9 \times XP(g) + 39,8 \times XL(g) + 20,1 \times XF(g) + 17,5 \times XX(g)$$

---

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Analyseverfahren zur Qualitätsbestimmung von Pflanzenteilen

In den Futterwerttabellen der Tierernährung wird die Einteilung der Nährstoffe zur Qualitätsbestimmung Pflanzenteile nach der Weender Futtermittelanalyse durchgeführt. Die Weender-Analyse wurde bereits im Jahre 1860 in der Landwirtschaftlichen Versuchstation Weende bei Göttingen von HENNEBERG und STOHMANN ausgearbeitet. Sie stellt eine sogenannte Konventionsanalyse dar, d. h., es sind genaue Analysevorschriften ausgearbeitet, die bei strenger Einhaltung zu gut reproduzierbaren Analyseergebnissen führen. Dennoch haften dem Verfahren mehrere Mängel an (KIRCHGEBNER, 2004). Die Nährstoffe werden bei der Weender-Analyse in drei Fraktionen unterteilt: Rohprotein, Rohfett und Rohfaser. Ein Schwachpunkt liegt z.B. darin, dass bei der Fraktion Rohfaser kein Unterschied zwischen leicht verdaulichen Kohlenhydraten und schwer bis nicht verdaulichen Faserstoffen (z.B. Lignin) gemacht wird. Die Weender-Analyse wurde später von VAN SOEST (1967) erweitert und verbessert, insbesondere wurde die Fraktion Rohfaser weiter differenziert und in die sogenannten Van-Soest-Fraktionen unterteilt (s.u.).

#### 4.1.1 Weender Rohnährstoffanalyse

##### 4.1.1.1 Rohprotein

Rohprotein (XP) wird standardmäßig nach der Methode von Kjeldahl (Aufschluss mit Schwefelsäure, Destillation und Titration des freigesetzten Ammoniak) bestimmt („Rohprotein - Kjeldahl-Aufschluss“ 4.1.1; Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 2. Erg., 1988). Dabei wird in guter Näherung davon ausgegangen, dass die analysierten landwirtschaftlichen Substrate im Schnitt 16% Stickstoff enthalten, wodurch sich für die Umrechnung in Rohprotein ein Faktor von 6,25 ergibt. Das Rohprotein besteht im wesentlichen aus sog. Reinprotein, also Polypeptiden. Außerdem werden bei der Methode zusätzlich noch Säureamide, freie Aminosäuren, N-haltige Glykoside, Betain, Xanthin, Guanin, Purine und sonstige organische Verbindungen mit 3-wertigem Stickstoff mit erfasst. Man erhält daher den Gesamtstickstoffgehalt der untersuchten Substanzen (KIRCHGEBNER, 2004).

---

#### 4.1.1.2 Rohfett

Rohfett (XL) wird analytisch als Etherextrakt (Extraktion mit Petrolether in der Soxhlet-Apparatur) definiert. Es umfasst eine stark heterogene Gruppe von Stoffen, denen nur ihre Löslichkeit in diesem Lösungsmittel gemeinsam ist. Hier handelt es sich um Stoffe, von denen die Fette mindestens 2/3 der Gesamtmenge stellen. Außer den Tri-, Di- und Monoglyceriden werden auch Phospholipide, Sterine, Wachse, Harze, Carotinoide, Xanthophyll und Chlorophyll mit erfasst. Die Analyse erfolgt gemäß der Methode für „Bestimmung von Rohfett“ 5.1.2; Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 2. Erg., 1988.

Diese Vielzahl an verschiedener Substanzen werden als Lipide zusammengefasst. Sie sind in Wasser unlöslich, dagegen in organischen Lösungsmittel wie Benzol, Ether oder Chloroform gut löslich (KIRCHGEBNER, 2004).

#### 4.1.1.3 Rohfaser

Rohfaser (XF) ist der in Säuren und Laugen unlösliche fett-, stickstoff- und aschefreie Rückstand der Trockenmasse. Die Rohfaser umfasst im wesentlichen Cellulose, Pentosane, Lignin, Suberin und Cutin (KIRCHGEBNER, 2004). Hemicellulose wird auch in geringerem Umfang erfasst. Diese Analyse wird gemäß „Rohfaser“ 6.1.1; Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 2. Erg., 1988 durchgeführt.

#### 4.1.1.4 N-freie Extraktstoffe

Ein Teil der Rohfaser geht jedoch in Lösung und wird somit der Gruppe der N-freien Extraktstoffe (XX) zugerechnet. Diese letzte Gruppe der Weender-Analyse wird nur rechnerisch erfasst. Sie enthält alle diejenigen zahlreichen leichtlöslichen Stoffe, die bei den anderen Bestimmungen nicht mit erfasst wurden (KIRCHGEBNER, 2004).

(12) N-freie Extraktstoffe = organische Masse - Rohprotein - Rohfett - Rohfaser

### **4.1.2 Erweiterte Weender-Analyse**

Die Fraktion Rohfaser der Weender Rohnährstoffanalyse stellt, wie auch ihren Begründern HENNEBERG und STOHMANN bereits bekannt war, den Schwachpunkt der Weender Methode

---

dar. Sie repräsentiert weder die vollständige Faser, noch „das Unverdauliche“, noch definiert sie den Gehalt an Zellwänden (OHLDE, 1991).

Zur besseren Differenzierung der Kohlenhydrate wurde von VAN SOEST (1967) ein neues Analysensystem vorgeschlagen, das mittlerweile eine weite Verbreitung gefunden hat und als „Erweiterte Weender-Analyse“ (EWA) bekannt ist. Die Summe der Gerüstsubstanzen wird dabei als Rückstand nach dem Kochen in neutraler Detergentienlösungen erhalten (NDF, Neutral Detergent Fiber). Der Rückstand nach dem Kochen mit schwefelsaurer Detergentienlösung (ADF, Acid Detergent Fiber) enthält im wesentlichen Cellulose und Lignin. In diesem Rückstand wird die Cellulose durch 72%ige Schwefelsäure hydrolysiert und der dann noch verbleibende Rückstand als „Lignin“ ausgewiesen (ADL, Acid Detergent Lignin). Man muss sich darüber im klaren sein, dass man auch hier Stoffgruppen und nicht chemisch definierte Substanzen ermittelt (KIRCHGEBNER, 2004).

#### 4.1.2.1 NDF

Die Bestimmung der Neutral-Detergentien-Faser (NDF) erfasst den Gehalt an pflanzlichen Zellwandgerüstsubstanzen in der analysierten Probe. Dabei handelt es sich vor allem um Hemicellulose, Cellulose, Lignin und Lignin-N-Verbindungen. Dabei ist anzumerken, dass Kieselsäure und Silikate erdiger Verunreinigungen methodenbedingt mit erfasst werden und je nach Gehalt zu einer leichten Verfälschung des Ergebnisses beitragen können. Das Prinzip der Bestimmung beruht auf der Tatsache, dass durch einstündiges Kochen der Probe in einer neutralen Detergentienlösung alle dieser Fraktion nicht angehörenden Stoffe in Lösung gebracht werden und anschließend durch Filtration abgetrennt werden können. Der Rückstand im Filtrieriegel wird gewaschen, getrocknet und gewogen. Die Auswaage entspricht bezogen auf die Ausgangsmenge dem Gehalt an Neutral-Detergentien-Faser. Diese Analyse wird gemäß „NDF 6.5.1; Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 2. Erg., 1988“ durchgeführt.

#### 4.1.2.2 ADF

Die Methode der Bestimmung der Säure-Detergentien-Faser (Acid-Detergent-Fiber; ADF) erfasst ebenfalls die pflanzlichen Zellwandgerüstsubstanzen, sowie eventuell in der Probe vorhandene Silikate aus erdigen Verunreinigungen. Der Unterschied zur Bestimmung des NDF besteht jedoch darin, dass sich hierbei nur Cellulose, Lignin, Lignin-N-Verbindungen

---

und Silikate im Filterkuchen finden, jedoch nicht Hemicellulose. Somit dient die Differenz aus den Werten der NDF und ADF der selben Probe zur Bestimmung deren Hemicellulosegehaltes.

Ähnlich wie bei der Bestimmung der NDF wird hierbei die Probe in einer schwefelsauren Detergentienlösung eine Stunde lang gekocht, wobei zusätzlich der Anteil an Hemicellulose in die Lösung übergeht. Somit ist die Auswaage des gewaschenen und getrockneten Rückstandes schließlich um dessen Anteil gemindert.

Diese Analyse wird gemäß „ADF Kap.6.5.2; Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 3. Erg., 1988“ durchgeführt.

#### 4.1.2.3 ADL

Die Bestimmungsmethode des Säure-Detergentien-Lignins (Acid-Detergent-Lignin, ADL) erfasst von den pflanzlichen Zellwandgerüstsubstanzen lediglich das sog. Rohlignin. Dazu wird der von der ADF-Bestimmung im Filtertiegel verbliebene Rückstand 3 Stunden unter gelegentlichem Rühren mit 72%iger Schwefelsäure bei Zimmertemperatur (20-23°C) behandelt. Dabei gehen alle Bestandteile, außer des Rohlignins in Lösung und können nach Ablauf der Reaktionszeit durch den Filtertiegel abgesaugt werden. Der danach gewaschene und getrocknete Rückstand entspricht dann dem Rohlignin zuzüglich eventuell vorhandener mineralischer Verunreinigungen. Zur Beseitigung des Einflusses dieser Störstoffe auf das Ergebnis sowie auf die Ergebnisse der NDF- und ADF-Bestimmung wird der Tiegelinhalt ausgeglüht. Der danach noch verbleibende Rückstand entspricht dem mineralischen Anteil erdiger Verunreinigungen.

Die angewandte Methode entspricht jener des Rohlignins, Kap. 6.5.3, Futtermitteluntersuchung, Methodenbuch III, 2. Erg., 1988.

$$(13) \text{ Cellulose} = \text{ADF} - \text{ADL}$$

$$(14) \text{ Hemicellulose} = \text{NDF} - \text{ADF}$$

---

#### 4.1.2.4 Cellulose

Cellulose (CL) ist ebenso wie Stärke aus Glukose aufgebaut. Cellulose ist ein wichtiger Baustoff der Wände der Pflanzenzellen, besonders im jüngeren Wachstumsstadium (KIRCHGEBNER, 2004). Die Cellulose ist ein lineares  $\beta$ -D-(1-4) Glukan Polymer. Diese linearen Moleküle sind über einer Wasserstoffbrücke verbunden. Die Verbindung von ungefähr 50 Glukanen ergeben eine Kette mit einem Durchmesser von 3,5 nm als elementare Faser (TERNRUD, 1987).

#### 4.1.2.5 Hemicellulose

Als Hemicellulose (HC) wird eine Stoffgruppe bezeichnet, welche den verholzten Pflanzenanteilen durch verdünnte Laugen entzogen werden kann. Chemisch handelt es sich im wesentlichen um Polysaccharide aus Xylose, Arabinose, Mannose und Galaktose (KIRCHGEBNER, 2004). Die Hemicellulose ist eine heterogene Fraktion und wird als „Alkali-Lösliche Substanz“ nach der Entfernung von Pektin definiert (TERNRUD, 1987).

#### 4.1.2.6 Lignin

Lignin (ADL) ist ein aromatischer und hoch molekularer Bestandteil der Zellwand (TERNRUD, 1987). Das Lignin (Holzstoff) ist die in den pflanzlichen Zellwänden vorhandene Verholzungssubstanz. Chemisch gesehen ist es kein Kohlenhydrat, Grundbausteine sind Derivate des Phenylpropan. Lignin ist sehr widerstandsfähig gegen Säuren wie auch gegen bakterielle Zersetzung. Letzteres bedeutet, dass in ligninreichen, also verholzten Pflanzenanteilen die Verdaulichkeit der Nährstoffe mehr oder weniger stark beeinträchtigt ist (KIRCHGEBNER, 2004).

### **4.1.3 Physikalische Parameter**

Im Folgenden sollen die physikalischen Parameter Trockensubstanz (TS) und organische Trockensubstanz (oTS) sowie deren Bestimmungsmethoden erläutert werden.

#### 4.1.3.1 Trockensubstanz

Der Anteil der Trockensubstanz wird über den Gewichtsverlust des durch die Austreibung in der Probe enthaltenen Wassers bestimmt. Der Trocknungsvorgang wird durch Erhitzen auf

---

105°C durchgeführt. Die angewendete Methode entspricht der Europäischen Norm DIN EN 12880 (Charakterisierung von Schlamm, Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts). Die Werte werden in Prozent angegeben (SPECKMEIER et al., 2006).

#### 4.1.3.2 Organische Trockensubstanz

Organische Verbindungen verbrennen bei 550°C quantitativ zu Kohlendioxid, Wasser und kleinen Mengen anderer gasförmiger Verbindungen. Dies macht man sich bei der Bestimmung der organischen Trockenmasse zu Nutze, indem durch Glühen der zuvor getrockneten Probe die gesamten darin enthaltenen organischen Bestandteile verflüchtigt werden. Die daraus resultierende Massendifferenz gibt Auskunft über die Anteile an organischen (Glühverlust) und mineralischen (Asche) Inhaltsstoffen in der Probe. Die Bestimmung der organischen Trockensubstanz erfolgt durch Erhitzen auf besagte 550°C bis zur Massenkonstanz gemäß der Methode der Europäischen Norm, DIN EN 12879 (Charakterisierung von Schlämmen, Bestimmung des Glühverlustes von Trockenmasse.) Die Angabe erfolgt in Prozent bezogen auf die Trockensubstanz (SPECKMEIER et al., 2006).

## **4.2 Versuchstechnische Einrichtungen**

Wie beim Kapitel Zielsetzung (Kap. 2) erwähnt ist, wurde im ersten Schritt eine Laborfermentieranlage aufgebaut. Die Substrate für die Gärversuche wurden ausgewählt und an den entsprechenden Ernteterminen geerntet und konserviert. Zuletzt wurden die Substrate vergoren und die Messdaten statistisch ausgewertet.

### **4.2.1 Laborfermentieranlage (Weihenstephaner Batch System)**

Um praxisrelevante Ergebnisse zu bekommen, wurde eine Laborfermentieranlage aufgebaut, in der keine mechanische oder chemische Vorbehandlung der Substrate nötig war, um sie zu vergären. So konnte ein Einfluss dieser etwaigen Vorbehandlungen auf die Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe ausgeschlossen werden. Um mehrere Substrate und ausreichende Wiederholungen ohne allzu großen Aufwand parallel bearbeiten zu können ( $n = 5$ ), sollte die Anlage auch aus möglichst kleinen Reaktoren bestehen. Es zeigte sich, dass bei Glasreaktoren mit der Größe von 2 Liter einerseits die direkte Einwaage von praxisrelevanten Substraten möglich war und andererseits der Gärprozess realitätsnah ablief.

---

Die komplette Laborfermentieranlage besteht aus 5 Klimaschränken mit regelbarer Temperatur. Jeder Klimaschrank enthält 14 Glasreaktoren ( $V = 2\text{ l}$ ). Jeder Glasreaktor hat seinen eigenen Gaszähler (Milligascounter®). Vom Gaszähler werden die Gasmengen der Wiederholungen ( $n = 5$  für Substrate;  $n = 4$  für Nullproben) in einem Gassack zwischengespeichert und von dort der Gasanalyse zugeführt. Die Milligascounter® geben einen elektrischen Impuls aus, der von einem Datalogger erfasst wird und somit die Gasproduktion in einer Access-Datenbank festgehalten wird (siehe Abbildung 4, 5 und 6).

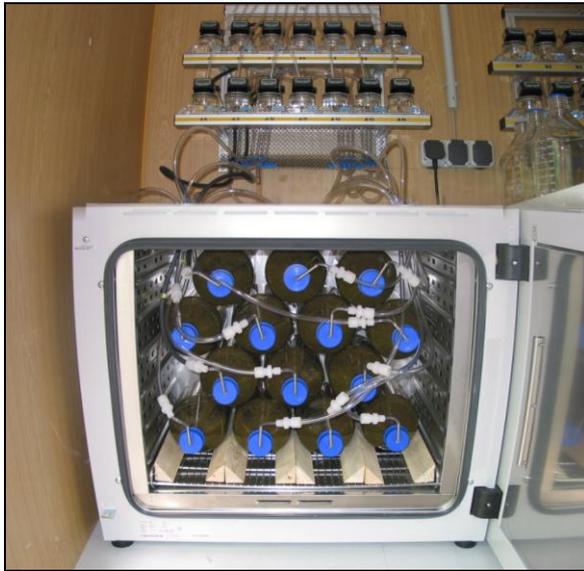


Abbildung 4: Klimaschrank, Glasreaktoren und Milligascounter®.



Abbildung 5: Laborfermentieranlage.

Die Laborfermentieranlage war im April 2003 planmäßig betriebsbereit und wurde am 5. Mai 2003 mit den ersten Grünlandproben (aus Kempten) beschickt. Ab diesem Datum lief die Anlage kontinuierlich ohne Störungen.

Ende 2005 konnte die Laborfermentieranlage in den automatischen Betrieb überführt werden. Damit wurde ermöglicht, jeden einzelnen Liter Biogas, der aus den Reaktoren gebildet wird, automatisch hinsichtlich seiner Gaszusammensetzung zu analysieren („Weihenstephaner Batch System“ - WBS).

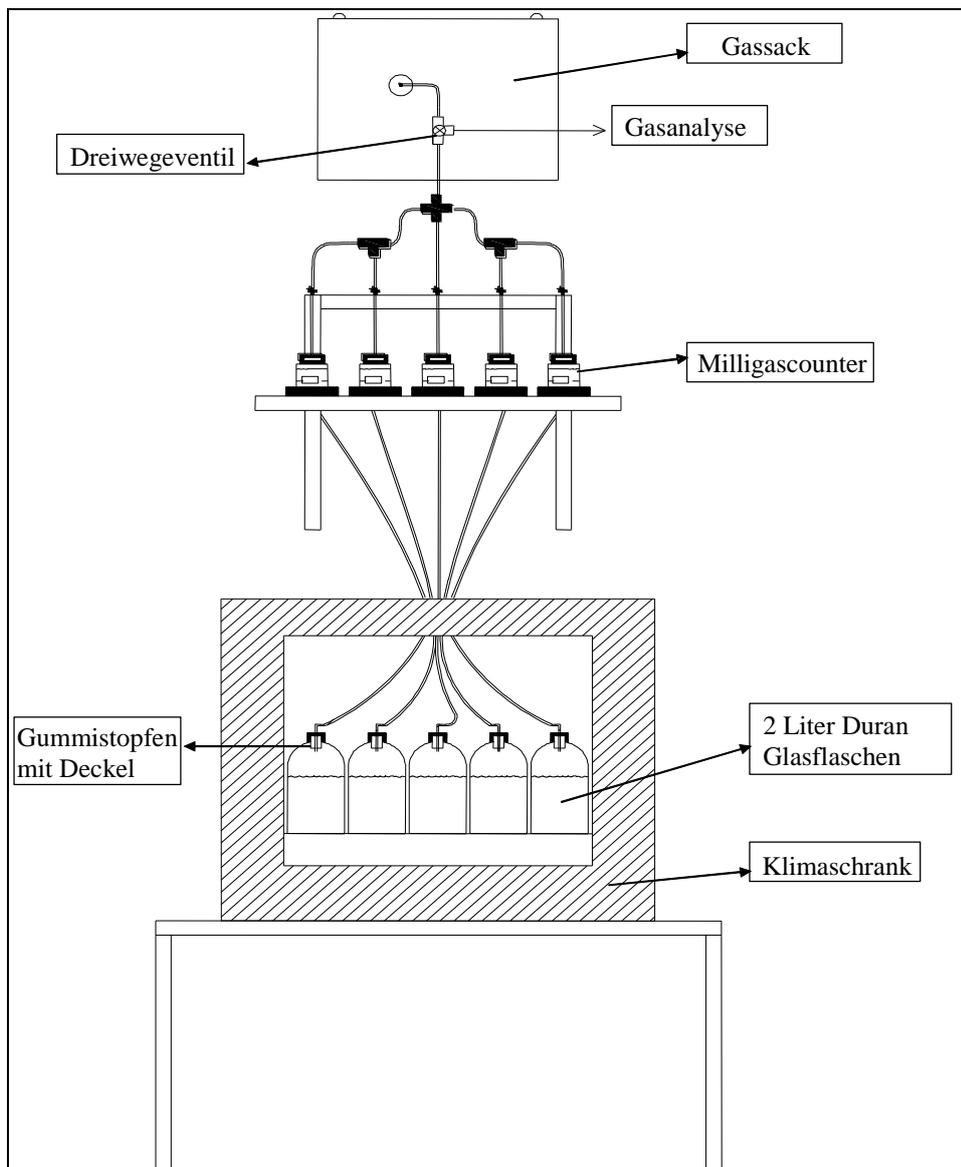


Abbildung 6: Skizze der Kleinlaborfermentieranlage.

## 4.2.2 Datenerfassung

### 4.2.2.1 Gasertrag

Um den Gasertrag mit der erforderlichen Genauigkeit zu messen, wurden Milligascounter® (MGC, RITTER GmbH) verwendet (Abbildung 7). Dieser miniaturisierte Kippzähler hat eine durch die Kippkammer bedingte Auflösung von etwa 1,00 ml (auf zwei Stellen hinter dem Komma einzeln kalibriert). Er ist von Atmosphärendruck und von der Reaktortemperatur weitgehend unabhängig und baut lediglich einen Druck von 4-7 mbar auf, so dass dieser auch zur Überwachung von Laborreaktoren mit Überlauf dienen kann (SCHERER, 2002).

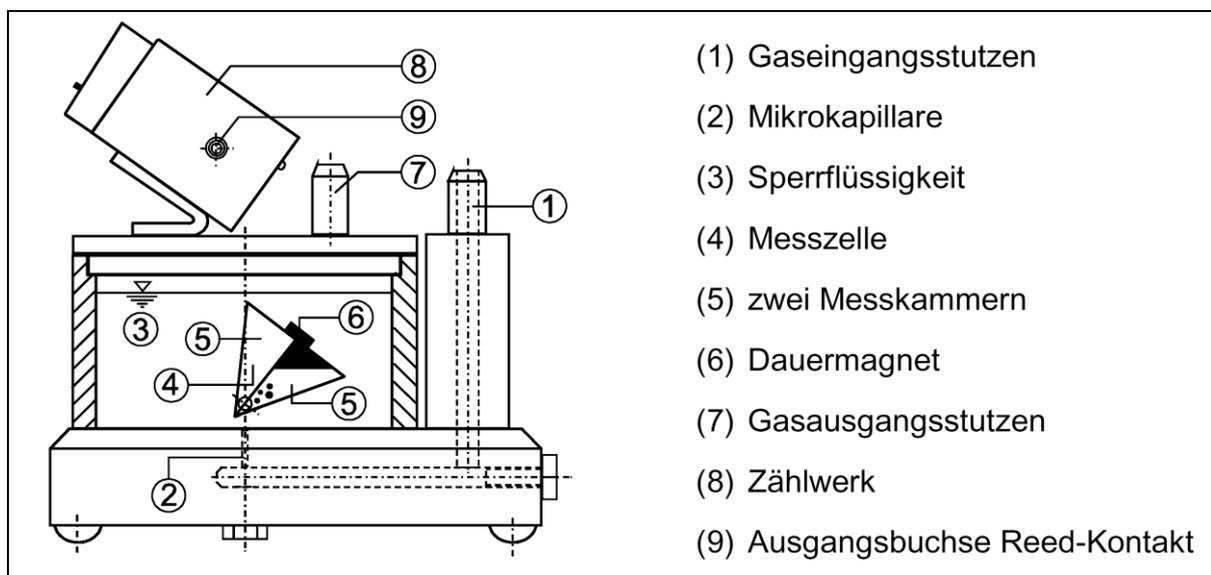


Abbildung 7: Skizze des Milligascounter® (Quelle: RITTER GmbH).

Das zu messende Gas gelangt über den Gaseingangsstutzen (1) durch eine Mikrokapillare (2) von unten in den Flüssigkeitsbehälter des Milligascounter®, der mit einer Sperrflüssigkeit (3) gefüllt ist.

Das Gas steigt in Form von kleinen Gasblasen innerhalb der Sperrflüssigkeit nach oben in die Messzelle (4). Die Messzelle besteht aus zwei Messkammern (5), die nacheinander durch die aufsteigenden Gasblasen gefüllt werden. Nach erfolgter Füllung einer Messkammer kippt die Messzelle durch den Auftrieb der gefüllten Messkammer in eine Position, in der die gefüllte Messkammer entleert wird und die Füllung der zweiten Messkammer beginnt. Die Volumenmessung des Gases erfolgt also in diskreten Schritten durch Zählung der Kippvorgänge der Messzelle (4) mit einer Auflösung von ca. 1 ml (= Inhalt einer Messkammer). Bei einer Abschätzung/Berechnung des Gesamt-Messfehlers ist dieser durch die Auflösung bedingte „Restfehler“ (= max. 1,00 ml) zu berücksichtigen.

Der Kippvorgang löst über einen Dauermagneten (6) und Magnetsensor (Reedkontakt) einen Impuls aus, der vom Zählwerk (8) registriert wird. Das gemessene Gas entweicht durch den Gasausgangsstutzen (7). Die Schaltimpulse des Reedkontaktes können über die Buchse (9) erfasst werden. Diese Schaltimpulse wurden über einen Datalogger auf einer Access-Datenbank mit einem 10 Minuten-Takt festgehalten.

#### 4.2.2.2 Temperatur- und Druckkorrektur

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.

Entsprechend der Gasgleichung gilt allgemein:

$$(15) \quad V_N = V_i \times \frac{P_a - P_V + P_F}{P_N} \times \frac{T_N}{T_i}$$

$V_N$  = Norm-Volumen in [l]

$V_i$  = Angezeigtes Volumen in [l]

$P_a$  = aktueller Luftdruck in [mbar-absolut]

$P_V$  = Wasserdampf-Partialdruck in [mbar]

$P_F$  = Druck der Flüssigkeitssäule oberhalb der Messkammer = 2 [mbar]

$P_N$  = Norm-Druck = 1013,25 [mbar]

$T_N$  = Norm-Temperatur = 273,15 [Kelvin]

$T_i$  = aktuelle Temperatur in [Kelvin]

#### 4.2.2.3 Gasanalyse

Das von der Firma AWITE (Projekt-ID:20) installiertes Gerät zur Gasanalyse enthält 5 Sensoren. Das Messprinzip der einzelnen Sensoren ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Messprinzip des Gasmessgerätes der Firma AWITE.

Stoff	Sensorprinzip	Messbereich	Messgenauigkeit
CH <sub>4</sub>	infrarot	0 – 100 Vol.- %	± 2 % relativ
CO <sub>2</sub>	infrarot	0 – 100 Vol.- %	± 2 % relativ
O <sub>2</sub>	elektrochemisch	0 – 25 Vol.- %	± 1 % relativ in Luft
H <sub>2</sub> S	elektrochemisch	0 – 500 ppm	± 2 % relativ
H <sub>2</sub> S	elektrochemisch	0 – 5000 ppm	± 2 % relativ

---

Mit dem Gasanalysator werden kontinuierlich Messungen der Gaszusammensetzung aus den verschiedenen Reaktoren durchgeführt. Dabei wurde ein kontinuierliches Analysenintervall von 24 Stunden realisiert. Bei Reaktionszeiten in den Glasreaktoren von Durchschnitt 35 Tagen ergaben sich ungefähr 20 Gasanalysen je Substrat, weil für eine Analyse mindestens ein Liter Gas zur Verfügung stehen musste und gegen Ende eines Batch-Versuchs diese Menge erst jeden dritten Tag erreicht wird. In Verbindung mit den Daten der Gasmengenerfassung war somit eine quasikontinuierliche Analyse der Massenproduktion einzelner Gase aus dem mikrobiologischen Abbau möglich.

## **4.3 Versuchsaufbau**

### **4.3.1 Befüllung der Glasreaktoren**

Für jeden Versuch wurde eine Mischung aus dem Standardinokulum und der entsprechenden Substratvariante in einer Relation 5:1 auf Trockenmasse-Basis hergestellt. Für diesen Zweck wurde eine TS-Waage (RH 120-3, KERN) eingesetzt, die eine TS Bestimmung in ca. 30 – 40 min ermöglicht. Für jedes Substrat erfolgten 5 parallele Wiederholungen. Als Nullprobe für jeden Versuch dienten 4 Parallelansätze von reinem Standardinokulum. Somit war es möglich 2 Substrate mit 5 Wiederholungen und eine Nullprobe mit 4 Wiederholungen pro Klimaschrank zu untersuchen. Für jeden Tag in dem Fermenter befüllt wurden, wurde eine Nullprobe eingesetzt, um die Konstanz des Standardinokulums zu überprüfen.

Beim Standardinokulum handelte es sich um eine Gärsuspension aus einer halbtechnischen Biogasanlage ( $V = 3,5 \text{ m}^3$ ), die täglich mit einer Mischung von Rindergülle und TMR (Total Mixed Ration = Viehmischfutter) gefüttert wird. Das Mischungsverhältnis der Rindergülle und TMR bezogen auf organische Trockensubstanz liegt bei 80:20. Die Mischungsverhältnisse der TMR-Komponenten sind in Tabelle 7 nach absteigenden Anteilen aufgelistet (SPECKMEIER et al., 2006).

Die Fütterung der halbtechnischen Biogasanlage erfolgte gleichbleibend über das gesamte Jahr mit dem Ziel, eine Gärsuspension gleichbleibender Qualität und mikrobiologischer Zusammensetzung bzw. Aktivität zu erhalten, die als Inokulum für die Laborversuche eingesetzt werden kann. Die hydraulische Verweilzeit in der halbtechnischen Biogasanlage beträgt 20 Tage.

---

Tabelle 7: Mischungsverhältnis der TMR-Komponenten.

<b>Bestandteil</b>	<b>Anteil</b>
Maissilage	43 %
Grassilage	18 %
Getreideschrot	12 %
Wasser	9 %
Sojapellets	7 %
Mineralstoffmischung („Kuhkorn“)	7 %
Heu	4 %

Die Dauer der Versuche betrug mindestens 35 Tage und maximal 40 Tage und war von den entsprechenden Varianten abhängig. Der Batch-Versuch wurde nur beendet, wenn die Gasproduktion der einzelnen Wiederholungen unter 100 ml pro Tag abgesunken war. Das entspricht einer täglichen Gasproduktion von weniger als 1% der gesamten kumulierten Gasproduktion.

#### **4.3.2 Berechnung des Biogas- und Methanertrages**

Für die Berechnung des Biogasertrages wurde mit Hilfe einer Software (auf Visual-Basic basierend) die Access Datenbank ausgelesen und die entsprechenden Daten für die Auswertung ausgewählt. Diese Rohdaten wurden graphisch dargestellt, um Fehler des Systems zu entdecken und korrigieren. Die Graphische Darstellung der Rohdaten ist in der Abbildung 8 exemplarisch zu sehen.

Nach der Prüfung der Rohdaten wurde die Biogasproduktion auf Normgas umgerechnet (siehe Kap. 4.2.2.2). Dafür wurden die 10 Minuten-Takt Werte auf tägliche Werte hochgerechnet. Für die Gastemperatur wurden Mittelwerte aus drei Sensoren (PT-100), die auf Höhe der Milligascounter angebracht waren, von 10 Minuten-Takt auf tägliche Werte hochgerechnet. Für den Luftdruck wurden stündliche Werte aus der Wetterstation der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising (Staudengarten) herangezogen und auf einen täglichen Mittelwert hochgerechnet.

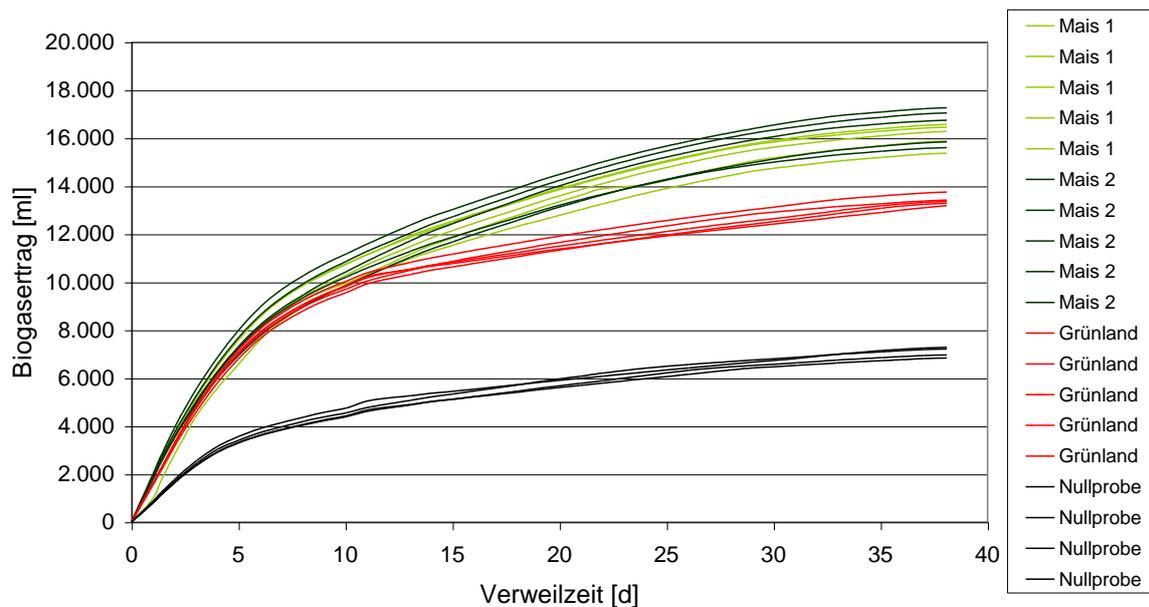


Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der Rohdaten des Biogasertrags eines Versuches.

Nach der Normierung wurden die täglichen Mittelwerte jeder Nullprobe auf die einzelne Einwaage bezogen und aus dem spezifischen Biogasertrag (ml/g oTM) wurden Mittelwerte gebildet. Dieser spezifische Biogasertrag der Nullprobe wurde von den Biogaserträgen aus den Versuchsvarianten abgezogen. Somit war es möglich, für jeden Tag die spezifische Biogasproduktion des Substrates für jeden Glasreaktor zu bestimmen. Die Addition der täglichen Biogasproduktion ermöglicht es, den kumulativen Biogasertrag darzustellen. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse dieser Umrechnung ist in Abbildung 9 zu sehen.

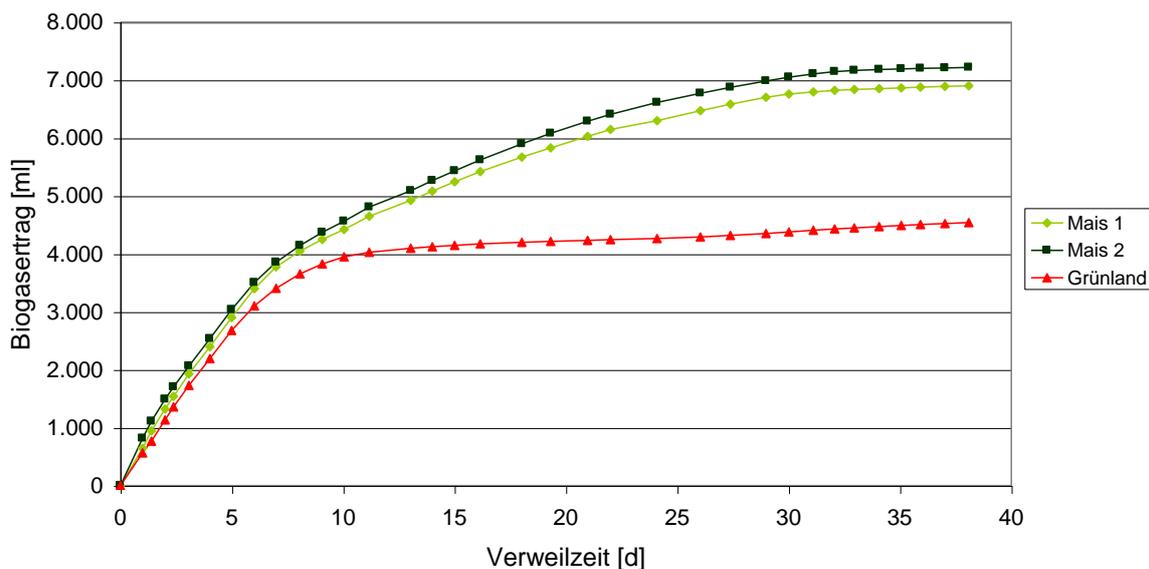


Abbildung 9: Exemplarische Darstellung der komulierten Biogaserträge drei verschiedenen Substrate.

Da die Gasanalyse aus einer Mischung der Fermenterwiederholungen stammte, wurden für die Nullprobe und für die getesteten Substrate jeweils Mittelwerte gebildet und mit dem Methangehalt der täglichen Analyse multipliziert, um so den täglichen Methanertrag zu bestimmen. Wie bei der Umrechnung des Biogasertrages wurde auch der spezifische Methanertrag (ml CH<sub>4</sub>/g oTM) der Nullprobe analog berechnet. Aus den Wiederholungen wurden Mittelwerte gebildet und kumulative Methanertragskurven für jedes Substrat dargestellt. Diese Methanerträge wurden durch die Einwaage des Substrates dividiert, um den spezifischen Methanertrag zu bekommen. Eine exemplarische Darstellung eines solchen Ergebnisses ist in der Abbildung 10 dargestellt.

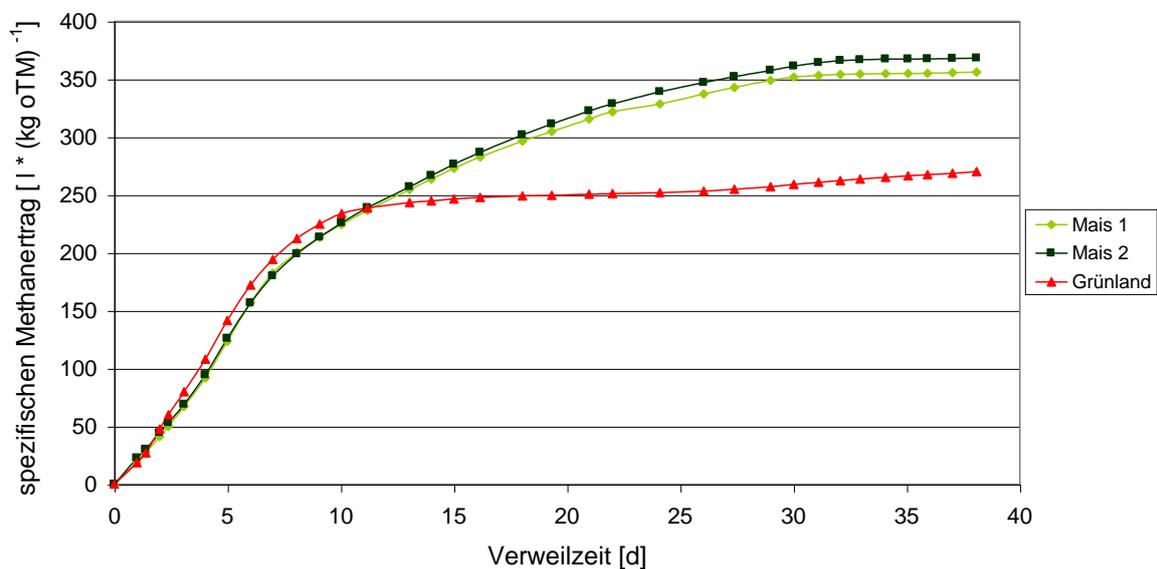


Abbildung 10: Exemplarische Darstellung der kumulierten spezifische Methanerträge drei verschiedenen Substrate.

Mit diesen Verfahren wurden die spezifischen Biogas- und Methanerträge aller Substrate ermittelt. Aus den kumulierten Biogaserträgen und den korrespondierenden Methangehalten wurden die Methanerträge berechnet. Durch die Wiederholungen konnten auch statistische Absicherungen wie z.B. aus die Standardabweichung (s) den Vertrauenskoeffizient (Vk) ermittelt werden. In der Tabelle 8 ist das Ergebnis aus dem vorigen Beispiel dargestellt.

Tabelle 8: Biogas- und Methanertrag des dargestellten Beispiels.

Substrat	Biogasertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]		Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]		Variationskoeffizient [ % ]	Methangehalt [ Vol.-% ]
	x	s	x	s	Vk	
Mais 1	698,68	40,43	356,12	20,61	5,79	50,97
Mais 2	716,05	61,63	368,19	31,69	8,61	51,42
Grünland	501,05	19,70	270,17	10,62	3,93	53,92

Die Biogas- und Methanerträge aus den Testsubstraten wurden unter der Voraussetzung bestimmt, dass keine Synergieeffekte auftreten (LINKE, 2004). Mittelwert (x) und Standardabweichung (s) für die Gasausbeute aus dem alleinigen Substrat ergeben sich unter Anwendung des Additionstheorems der Normalverteilung (PRECHT & KRAFT, 1992) für Versuchsvarianten und Nullproben:

$$(16) \quad \mu = \sum_{i=1}^n k_i \mu_i \quad ; \quad \sigma^2 = \sum_{i=1}^n k_i^2 \times \sigma_i^2 \quad ; \quad Vk = \frac{\sqrt{\sigma^2}}{\mu} \times 100 = \frac{s}{x} \times 100$$

## 4.4 Testsubstrate

### 4.4.1 Mais

Die Maissorten, die geerntet und siliert wurden, stammen aus den Versuchfeldern der Arbeitsgruppe Mais des Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Diese Versuchsfelder waren in Parzellen unterteilt, die vier Wiederholungen für jede Sorte aufwiesen. Die Ernte der vier Parzellen wurde homogenisiert und aus dieser Mischung wurde eine repräsentative Probe entnommen und in einem Laborsilo (nach MAURITZ (1992), siehe Kapitel 4.4.5) konserviert. Die Sorten die in den verschiedenen Jahren beprobt wurden sind in Tabelle 9 und 10 aufgeführt. Als Referenzsorte wurde die adaptierte deutsche Sorte Gavott (S250) ausgewählt. Dazu wurden Spezialsorten für Biomasse ausgewählt. Aus Südfrankreich wurde die Sorte KXA 3191 (S280) und ein Hybride (Hybride 89; S800) zwischen Sorten aus Mexiko und Italien ausgewählt.

Für 2004 wurden die Sorten Mikado (S500) und KXA 4171 (S280) in Vergleich zu Gavott untersucht.

Tabelle 9: Beprobte Maissorten 2003.

Nr.	Sorte	Saattermin	Ernte	Erntedatum
1	Gavott	April	1	29. August
2	Gavott	April	2	19. September
3	Gavott	April	3	10. Oktober
4	Gavott	April	4	8. November
5	Gavott	Mai	1	29. August
6	Gavott	Mai	2	19. September
7	Gavott	Mai	3	10. Oktober
8	Gavott	Mai	4	8. November
9	Hybride 89	April	1	29. August
10	Hybride 89	April	2	19. September
11	Hybride 89	April	3	10. Oktober
12	Hybride 89	April	4	8. November
13	Hybride 89	Mai	1	29. August
14	Hybride 89	Mai	2	19. September
15	Hybride 89	Mai	3	10. Oktober
16	Hybride 89	Mai	4	8. November
17	KXA 3191	April	1	29. August
18	KXA 3191	April	2	19. September
19	KXA 3191	April	3	10. Oktober
20	KXA 3191	April	4	8. November
21	KXA 3191	Mai	1	29. August
22	KXA 3191	Mai	2	19. September
23	KXA 3191	Mai	3	10. Oktober
24	KXA 3191	Mai	4	8. November

Tabelle 10: Beprobte Maissorten 2004.

Nr.	Sorte	Saattermin	Ernte	Erntedatum
25	Gavott	April	1	14. September
26	Gavott	April	2	6. Oktober
27	Gavott	April	3	22. Oktober
28	Gavott	April	4	10. November
29	KXA 4171	April	1	14. September
30	KXA 4171	April	2	6. Oktober
31	KXA 4171	April	3	22. Oktober
32	KXA 4171	April	4	10. November
33	Mikado	April	1	14. September
34	Mikado	April	2	6. Oktober
35	Mikado	April	3	22. Oktober
36	Mikado	April	4	10. November

Insgesamt wurden damit 36 verschiedene Maisvarianten in zwei Jahren beprobt.

#### 4.4.2 Grünland

Die zur Beprobung vorgesehenen Flächen befanden sich am Lehr- und Versuchsgut Spitalhof in Kempten, im Raum Passau und im Raum Steinach (2.1 P des Landwirtschaftsamtes Deggendorf/Außenstelle Steinach). Die Beschreibung der Versuchsstandorte und ihre geographische Lage in Bayern ist der Tabelle 11 und Abbildung 11 entsprechend zu entnehmen.

Tabelle 11: Beschreibung der Versuchsstandorte.

Versuchsorte	Höhenlage (NN m)	Naturraum	Niedersch. (mm)	Temp. (°C)	Bodenart	Bodentyp
Spitalhof (Kempten)	730	Allgäuer Alpenvorland	1287	7,0	Schluffiger Lehm	Parabraunerde/Pseudogley
Kringell (Passau)	500	Bayerischer Wald	964	7,5	Sandiger Lehm	Ranker
Exlarn (Steinach)	460	Vorwald des Bayer. Waldes	900	7,0	Sandiger Lehm	Ranker

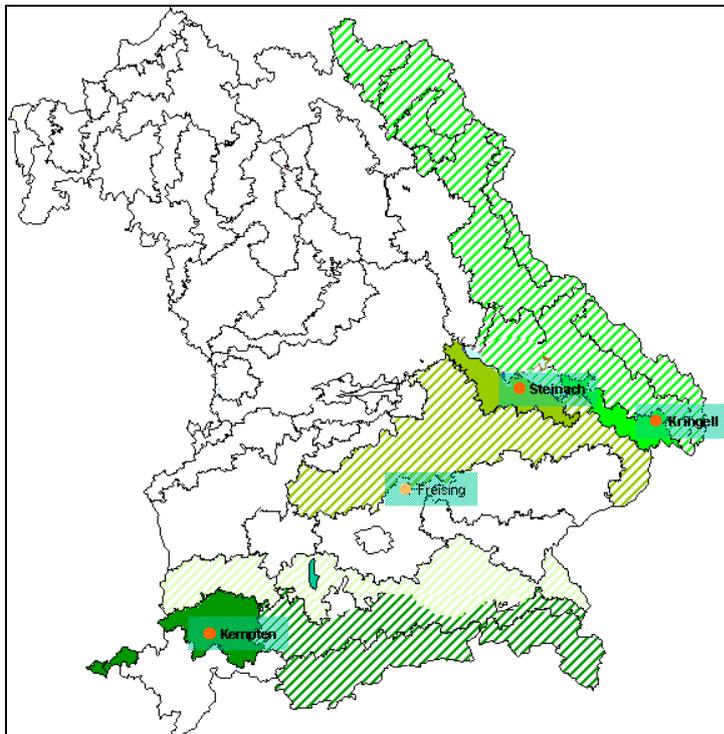


Abbildung 11: Dauergrünland Versuchsflächen.

---

Wegen der begrenzten Kapazität der Laborfermentieranlage konnten nicht alle Schnitte getestet werden. Die ausgewählten Schnitte wurden gleich nach der Ernte in Kühlboxen mit Kühllakkus transportiert und in Laborsilos (nach MAURITZ (1992), siehe Kapitel 4.4.5) konserviert. Wenn das Erntedatum mit freien Kapazitäten in der Laborfermentieranlage zusammenfiel, wurden diese Grünlandschnitte auch frisch vergoren. Es fielen auch Schnitte an, die nur frisch vergoren wurden und wegen Kapazitätsbegrenzungen der Laborsilos nicht konserviert werden konnten.

#### 4.4.2.1 Versuchsort Spitalhof / Kempten

In Kempten wurden Parzellen von langjährigen Exaktversuchen des IPZ beprobt, auf denen sich Grünlandbestände etabliert haben, die von Deutschem Weidelgrases (*Lolium perenne*) nativen Ursprungs dominiert werden. Sie weisen unterschiedliche Bewirtschaftungsintensität und teilweise auch stark differierende Pflanzenbestände auf.

Der dortige Vegetationstyp einer Weidelgras-Weißklee-Weide erlaubt eine sehr hohe Nutzungsintensität. Er ist repräsentativ für das Grünland vieler voralpiner Milchviehbetriebe mit hoher Grundfutterleistung und Silagewirtschaft mit 4-5 Schnitten pro Jahr. Die Versuchsvarianten von den Dauergrünlandflächen sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Substratbeschreibung der Gründlandvarianten von Spitalhof / Kempten.

Var.	Wiesen-Typ	Nutzungen pro Jahr	Düngungsart	N (kg/ha)	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)
491/9	Weidelgras, sehr intensiv genutzt, hoch N-gedüngt	5	mineralisch	300	160	300
491/8	Weidelgras, sehr intensiv genutzt, mittel N-gedüngt	5	mineralisch	200	160	300
491/7	Weidelgras, intensiv genutzt, hoch N-gedüngt	4	mineralisch	300	160	300
491/6	Weidelgras, intensiv genutzt, mittel N-gedüngt	4	mineralisch	200	160	300
491/3	krautreicher Weidelgrasbestand, intensiv genutzt, wenig N-Düngung	4	mineralisch	120	120	200
480/1.2	Weidelgras, intensiv genutzt, reine Gölledüngung	4	Gülle 4x20	-	-	-
480/2.2	sehr krautreiche Wiese, intensiv genutzt, ohne Düngung	4	ohne	-	-	-
480/1.3	krautreicher Weidelgrasbestand, mittelintensiv genutzt, mittlere N-Düngung	3	Gülle 3x20	-	-	-

Die Varianten die in 2003 beprobt wurden sind in Tabelle 13, die 2004 beprobten Varianten in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 13: Beprobte Varianten 2003 Spitalhof / Kempten.

Nr.	Variante	Schnitt	Vergärung
1	491/9	1.	frisch
2		1.	siliert
3		2.	frisch
4	491/8	1.	frisch
5		1.	siliert
6	491/7	1.	frisch
7		1.	siliert
8	491/6	1.	frisch
9		1.	siliert
10		2.	frisch
11		2.	siliert
12		4.	frisch
13		491/3	1.
14	1.		siliert
15	480/1.2	1.	frisch
16		1.	siliert
17		2.	siliert
18		4.	frisch
19	480/2.2	1.	frisch
20		1.	siliert
21		2.	siliert
22	480/1.3	1.	frisch
23		2.	frisch

Tabelle 14: Beprobte Varianten 2004 Spitalhof / Kempten .

Nr.	Variante	Schnitt	Vergärung
24	491/7	1.	siliert
25		2.	frisch
26		2.	siliert
27		3.	siliert

#### 4.4.2.2 Versuchsort Kringell / Passau

Im Raum Passau wurden Material von Beständen genommen, welche einen geringen Weidelgrasanteil, dagegen einen höheren Obergrasanteil aufweisen. Die Bewirtschaftungsintensität reicht dabei – entsprechend der Nutzungsspannweite im Mittelgebirgsraum – von extensiver Nutzung mit geringer Düngung und spätem ersten Schnitt

bis hin zu mittel- bis intensiv genutzten Grünlandbeständen mit drei bis vier Schnitten im Jahr. Die Versuchsvarianten von den Dauergrünlandflächen sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Substratbeschreibung der Grünlandproben von Kringell / Passau.

Var.	Wiesen-Typ	Nutzungen pro Jahr	Düngungsart
482/13	Fuchsschwanzwiese, sehr intensiv genutzt, Düngung "Öko", nur Gülle (ca. 2 GV)	5	Gülle 3x20
482/6	Fuchsschwanzwiese, intensiv genutzt, Düngung "Öko", nur Gülle (ca. 2 GV)	4	Gülle 3x20
481/8	Obergrasreicher Bestand von Berglagen, mittelintensiv genutzt	3	Gülle 2x25

Die Varianten, die in 2003 beprobt wurden sind in der Tabelle 16 dargestellt, die Übersicht der 2004 beprobten Varianten findet sich in Tabelle 17.

Tabelle 16: Beprobte Varianten 2003 Kringell / Passau.

Nr.	Variante	Schnitt	Vergärung
28	482/13	1.	frisch
29		1.	siliert
30		2.	siliert
31	482/6	1.	frisch
32		1.	siliert
33		2.	siliert
34		4.	frisch
35	481/8	1.	Heu
36		2.	frisch
37		2.	Heu
38		3.	frisch
39		3.	Heu

Tabelle 17: Beprobte Varianten 2004 Kringell / Passau.

Nr.	Variante	Schnitt	Vergärung
40	482/6	1.	siliert
41		2.	siliert
42		3.	siliert

---

#### 4.4.2.3 Versuchsort Exlarn / Steinach

Im Raum Steinach wurden Material von Beständen genommen, die einen geringen Weidelgrasanteil, dagegen einen höheren Obergrasanteil aufweisen und als Glatthaferwiesen unterschiedlicher Ausprägung klassifiziert werden können (Tabelle 18 und 19).

Tabelle 18: Substratbeschreibung der Grünlandprobe von Exlarn / Steinach.

Var.	Wiesen-Typ	Nutzungen pro Jahr	Düngungsart
457/3.2	Obergrasreiche Extensivwiese von Berglagen, langjährig nur mit Stallmist gedüngt	3	ab 2003 ohne

Tabelle 19: Beprobte Varianten 2003 Exlarn / Steinach.

Nr.	Variante	Schnitt	Vergärung
43	457/3.2	1.	Heu
44		2.	frisch
45		2.	Heu
46		3.	frisch
47		3.	Heu

Insgesamt wurden 47 verschiedene Schnitte in zwei Jahren aus Grünlandflächen beprobt.

### 4.4.3 Gräser

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

Wegen der hohen Anzahl an Grünlandproben in Jahr 2003 wurde eine geringe Menge an Gräser-Schnitten untersucht (siehe Tabelle 20 bis 23).

Tabelle 20: Beprobte Gräser 2003.

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
1	WEI <sup>1</sup>	Liquattro	1.	frisch
2			2.	siliert
3	WEI <sup>1</sup>	Andrea	2.	siliert
4	RKL <sup>2</sup>	Titus	1.	frisch
5			2.	siliert
6	LUZ <sup>3</sup>	Fee	2.	siliert
7	LUZ <sup>3</sup>	Planet	2.	siliert

<sup>1</sup>: Weidelgras einjährig

<sup>2</sup>: Rotklee

<sup>3</sup>: Luzerne

Tabelle 21: Beprobte Weidelgräser 2004.

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
8	WEI <sup>1</sup>	Andrea	4.	frisch
9			4.	siliert
10	WEI <sup>1</sup>	Andy	4.	frisch
11	WD <sup>2</sup>	Lipresso	2.	frisch
12			2.	siliert
13			4.	frisch
14			4.	siliert
15	WD <sup>2</sup>	Stratos	2.	frisch
16			2.	siliert
17			4.	frisch
18			4.	siliert
19	WD <sup>2</sup>	Weigra	1.	siliert
20			2.	siliert
21			4.	siliert
22	WV <sup>3</sup>	Lemtal	1.	frisch
23			1.	siliert

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
24	WV <sup>3</sup>	Lemtal	2.	frisch
25			2.	siliert
26			3.	frisch
27			3.	siliert
28			4.	siliert
29	WV <sup>3</sup>	Jeanne	1.	siliert
30	WB <sup>4</sup>	Pirol	1.	frisch
31			1.	siliert
32			2.	frisch
33			2.	siliert
34			4.	siliert
35	WB <sup>4</sup>	Redunca	1.	siliert
36			2.	siliert
37			4.	siliert

<sup>1</sup>: Weidelgras einjährig

<sup>2</sup>: Deutsch Weidelgras

<sup>3</sup>: Welsches Weidelgras

<sup>4</sup>: Bastard Weidelgras

Tabelle 22: Beprobte Gräser 2004.

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
38	KL <sup>1</sup>	Weidac	1.	frisch
39			1.	siliert
40	RSC <sup>2</sup>	Hykor	1.	frisch
41			1.	siliert
42			4.	siliert
43	WF <sup>3</sup>	Alko	2.	siliert
44			4.	siliert
45	WL <sup>4</sup>	Odenwälder	1.	frisch
46			1.	siliert
47			4.	siliert
48	WRP <sup>5</sup>	Lato	1.	frisch
49			1.	siliert
50			2.	siliert
51			3.	frisch
52			3.	siliert
53			4.	frisch
54			4.	siliert
55			WRP <sup>5</sup>	Oxford
56	4.	frisch		
57	4.	siliert		

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
58	WSC <sup>6</sup>	Cosmolit	1.	frisch
59			1.	siliert
60			4.	siliert
61	WSC <sup>6</sup>	Preval	2.	frisch
62			2.	siliert
63			4.	siliert
64	kl. Bärenklau <sup>7</sup>	-	-	frisch
65			-	siliert
66	Löwenzahn <sup>7</sup>	-	-	frisch
67			-	siliert

<sup>1</sup>: Knautgras

<sup>5</sup>: Wiesenrispe

<sup>2</sup>: Rohrschwengel

<sup>6</sup>: Wiesenschwengel

<sup>3</sup>: Wiesenfuchsschwanz

<sup>7</sup>: Aus eine Grünlandfläche, manuelle Selektion

<sup>4</sup>: Wiesenlieschgras

Tabelle 23: Beprobte Leguminosen 2004.

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
68	LUZ <sup>1</sup>	Fee	1.	frisch
69			1.	siliert
70			2.	siliert
71			3.	frisch
72			3.	siliert
73			4.	frisch
74			4.	siliert
75			LUZ <sup>1</sup>	Planet
76	1.	siliert		
77	4.	siliert		
78	RKL <sup>2</sup>	Titus	1.	frisch
79			1.	siliert
80			2.	frisch
81			2.	siliert
82			3.	frisch
83			3.	siliert
84			4.	frisch
85			4.	siliert
86			RKL <sup>2</sup>	Lucrum
87	4.	frisch		
88	WKL <sup>3</sup>	Milkanova	1.	frisch
89			1.	siliert
90			2.	frisch
91			2.	siliert

Nr.	Gräserart	Sorte	Schnitt	Vergärung
92	WKL <sup>3</sup>	Milkanova	3.	siliert
93			4.	siliert
94	WKL <sup>3</sup>	Klondike	2.	frisch
95			2.	siliert
96			4.	siliert

<sup>1</sup>: Luzerne

<sup>2</sup>: Rotklee

<sup>3</sup>: Weißklee

Insgesamt wurden 96 verschiedene Gräserarten in zwei Jahren aus den verschiedenen Versuchsflächen des IPZ beprobt.

#### 4.4.4 Andere Nawaro

Bei „anderen Nawaro“ handelt es sich um Energiepflanzen oder unkonventionelle Pflanzenarten, die für die Biogasproduktion nutzbar gemacht werden könnten. Diese Fruchtarten wurden auf den Versuchsflächen des TFZ in Straubing angebaut und zu bestimmten Terminen geerntet (Tabelle 24 und 25). Dort wurde das Material in Laborsilos konserviert (außer den C-Rüben, die frisch als Rübenmus getestet wurden und den Rübenblättern die ebenfalls frisch getestet wurden). Die Laborsilos wurden vor Ort entleert und die Silagen wurden nach Freising in Kühlboxen mit Kühllakkus transportiert.

Tabelle 24: Beprobte Nawaro 2003.

Nr.	Substrat	Erntedatum	Vergärung
1	Miscanthus	29. Juli	frisch
2		29. Juli	siliert
3	Rüben	4. November	frisch
4	Rübenblätter	4. November	frisch
5		4. November	siliert
6	Sudangras	3. Juli	siliert
7		22. Juli	siliert
8		11. August	siliert
9		18. September	siliert
10	Hanf	?	siliert
11		11. August	siliert
12	Hanfpresskuchen	?	frisch
13	Mischfrucht (Sommerweizen; Erbsen; Leindotter)	?	siliert

Tabelle 25: Beprobte Nawaro 2004.

Nr.	Substrat	Erntedatum	Vergärung
14	Miscanthus	11. August	siliert
15	Rüben	20. Oktober	frisch
16	Rübenblätter	20. Oktober	siliert
17	Sudangras	3. Oktober	siliert
18		25. August	siliert
19		6. September	siliert
20		6. Oktober	siliert
21	Mischfrucht (Sommerweizen; Leindotter)	20. Juli	frisch
22		20. Juli	siliert
23	Mischfrucht (Erbsen; Leindotter)	20. Juli	frisch
24		20. Juli	siliert
25	Mischfrucht (Gerste; Leindotter)	20. Juli	siliert
26	Hopfenhäcksel	2. September	frisch
27		2. September	siliert

Insgesamt wurden 27 verschiedene Substrate in zwei Jahren aus den verschiedenen Flächen des TFZ beprobt.

---

#### 4.4.5 Konservierung der Substrate (Silage)

Es wurden standardisierte Versuchsilos nach MAURITZ (1992) aus Hart-PVC in der Werkstatt vom ILT gebaut. Diese Silos haben einen Durchmesser von 0,38 m, eine Höhe von 1,00 m und ein Volumen von 0,1134 m<sup>3</sup>. Der Gärssaft, der sich bildet, wird durch einen Abfluss (Siphon) am Behälterboden abgeleitet.

Nach den Befüllen wurden die Silos mit einer vorher eingelegten Schlauchfolie verschlossen. Ein aufliegender Holzdeckel hat sie vor einer Beschädigung durch die Ballastgewichte geschützt. Diese dem Innendurchmesser der Silobehälter angepasste Betongewichte gewährleisteten die notwendige Verdichtung des Futterstockes. Bei einem Gewicht von 80 kg ergibt sich ein auf den Futterstapel ausgeübter Druck von 6920 Pa. Die Silierdauer betrug zwischen mindesten 90 bis 160 Tage für alle Substrate.

Die Silos wurden in einer geschlossenen Halle des IPZ gelagert. Für die Winterzeit wurden sie im Gewächshaus desselben Institutes untergebracht, um zu niedrige Temperaturen zu vermeiden (siehe Abbildung 12)



Abbildung 12: Laborsilos in der Halle und im Gewächshaus des IPZ.

---

## 4.5 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurde das Programm SAS (ver. 9.1 TS Level 1M3 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) verwendet.

Weil die Anzahl der verschiedenen getesteten Varianten nicht gleich waren und die Anzahl an Wiederholungen in den Varianten unterschiedlich waren, wurde die Prozedur PROC GLM (General Linear Models) gewählt um Regressionen zwischen Inhaltsstoffen und Biogaserträgen, Inhaltsstoffen und Methanerträgen sowie Inhaltsstoffen und Verdaulichkeiten bestimmen zu können.

Die Prozedur PROC GLM dient auch dazu, Varianzanalysen, Kovarianzanalysen, multiple Varianzanalysen und partielle Korrelationen durchführen zu können.

Die statistische Auswertung wurde in mehrere Gruppen geteilt. Es wurden Auswertungen für Biogas- und Methanerträge aus den abgebauten Inhaltsstoffen, aus dem gesamten Inhaltsstoffs-Input und aus den Inhaltsstoffe in g/kg FM vorgenommen. Für jede Gruppe wurde die Auswertung in zwei Untergruppen geteilt. Die erste Untergruppe bezieht sich auf Regressionsanalysen der Weender-Analyse und die zweite auf die erweiterte Weender-Analyse.

In beiden Fällen wurden multiple und lineare Regressionsmodelle verwendet:

$$(17) \quad y = x_0 + x_1 \times XP + x_2 \times XL + x_3 \times XF + x_4 \times XX$$

$$(18) \quad y = x_0 + x_1 \times XP + x_2 \times XL + x_3 \times OR + x_4 \times HC + x_5 \times CL + x_6 \times ADL$$

Für die auf Substrat bezogene Analysen wurde als erster Schritt eine multiple Varianzanalyse mit der Funktion MANOVA des GLM durchgeführt, um festzustellen ob die Gruppierungen der Nawaro und ihre Konservierungsformen (als ART[KONS] (Nested Effects) bezeichnet) einen Effekt auf die Regressionsanalyse hatten.

Für den Vergleich der Mittelwerte wurde die Funktion LSMEAN (Least-Squares Means) der Prozedur PROC GLM mit der Funktion von „Multiple Comparisons“ nach Bonferroni

---

angewendet, um mehr als zwei Mittelwerte zu vergleichen, wenn der MANOVA F-Test zwar einen signifikanten Unterschied festgestellt hatte, der aber nicht quantifiziert wurde (HSU, 1998).

Als letzte Darstellung wurde die Konstante des Regressionsmodells mit der Prozedur NOINT (No Intercept) eliminiert, weil grundsätzlich keine Gasproduktion stattfinden soll, wenn überhaupt kein Inhaltsstoff zur Verfügung steht. In diesem Fall wurden folgender Regressionsmodelle verwendet:

$$(19) \quad y = x_1 \times XP + x_2 \times XL + x_3 \times XF + x_4 \times XX$$

$$(20) \quad y = x_1 \times XP + x_2 \times XL + x_3 \times OR + x_4 \times HC + x_5 \times CL + x_6 \times ADL$$

---

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Wie schon im vorigen Kapitel (4.5) erwähnt wurde, erfolgte die Auswertung der Daten in mehreren Schritten und unter verschiedenen Gesichtspunkten. In den folgenden Kapiteln werden alle diese Schritte dargestellt und gleichzeitig diskutiert. Die Diskussion stützt sich nur auf wenige Literaturzitate, da ein Biogasversuch mit einer so hohen Anzahl an Substraten und mit kompletter Input- und Outputanalyse bis heute noch nicht durchgeführt wurde und daher einen originären Ansatz dargestellt.

Insgesamt wurden 206 Substrate und parallel dazu 56 Nullproben vergoren. Um statistische Sicherheit zu erreichen, erfolgte die Vergärung der einzelnen Substrate gleichzeitig jeweils fünfmal, die Nullproben jeweils gleichzeitig viermal. Da alle Wiederholungen berücksichtigt werden, sind es insgesamt 1310 Vergärungen die in der statistischen Auswertung betrachtet wurden. Für jede Vergärung wurde die komplette chemische Analyse (siehe Kapitel 4.1) durchgeführt, sowohl für das Substrat als auch das Standardinokulum (Nullprobe). Nach erfolgter Vergärung wurden die Gärreste der jeweils parallel laufenden Proben vermischt, anschließend erfolgten die Analysen an der Mischung.

Um die statistische Auswertung nicht zu verfälschen, wurden die Nullproben bei der substratbezogenen Schätzgleichungen nicht berücksichtigt. Aufgrund ihrer niedrigen Gasproduktion liegen deren Werte im Vergleich zu den Substratproben als „kleine Wolke“ an einem Ende der Berechnung und würden so das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) unbeabsichtigt stark positiv beeinflussen.

Für die Auswertung wurden die Substratproben in mehrere Gruppen unterteilt. Dabei wurden einerseits Nawaros gleicher Art zusammengefasst, andererseits aber nach Art der Konservierung unterschieden. Um sicherzustellen, dass die gruppierten Proben statistisch auch zusammen gehörten, wurde geprüft, ob die gemessenen Daten einer Normalverteilung folgen. Zuerst erfolgte die Prüfung nach Arten der verschiedenen Nawaros und anschließend wurden die verschiedenen Arten der Konservierung geprüft. Die Ergebnisse der Analyse auf Normalverteilung für Biogas- und Methanertrag sind im Anhang 10.3 dargestellt. Es wurde dabei festgestellt, dass die Konservierung als Heu aufgrund der niedrigen Probenzahl keiner

---

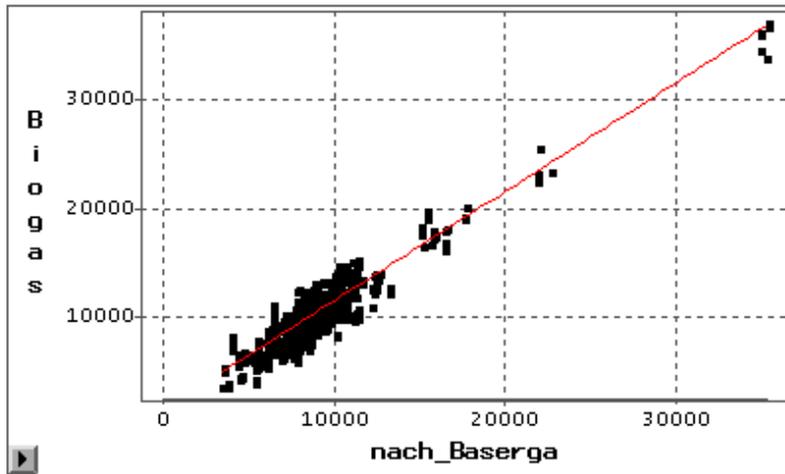
Normalverteilung folgt. Für die Auswertung wurde diese Substratvariante daher nicht berücksichtigt.

Die Analyse der Daten erfolgte dann für jede Gruppe als Ganzes (z.B. alle Maissorten), eine getrennte Untersuchung z.B. einzelner Sorten wurde der Übersichtlichkeit halber im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt.

## 5.1 Validierung der Methode

Um die Funktionalität der Laborfermentieranlage validieren zu können, wurde der gemessene Gasertrag dem aus den abgebauten Inhaltsstoffen berechneten Gasertrag gegenüber gestellt. Dazu wurde aus der Differenz der Inhaltsstoffgehalte zwischen gesamt Input und gesamt Output die einzelnen abgebauten Inhaltsstoffe berechnet. Diese abgebauten Inhaltsstoffe wurden mit dem Modell nach BASERGA (1998, siehe Kapitel 3.2.2.1) (Gleichung 21) auf Biogas hochgerechnet und gegenüber den tatsächlichen Biogaserträgen des Versuches geplottet (Abbildung 13). Bei der Berechnung der Gaserträge wurde dabei der Energieverlust für Fermentationswärme berücksichtigt (nach EDELMANN (2001), siehe Kapitel 3.2.2.2).

$$(21) \quad y(ml) = 700 \times XP(g) + 1250 \times XL(g) + 790 \times XF(g) + 790 \times XX(g)$$



Model Equation	
Biogas	= 1422.84 + 1.0033 Baserga

Summary of Fit			
Mean of Response	10465.0496	R-Square	0.8818
Root MSE	1258.6161	Adj R-Sq	0.8817

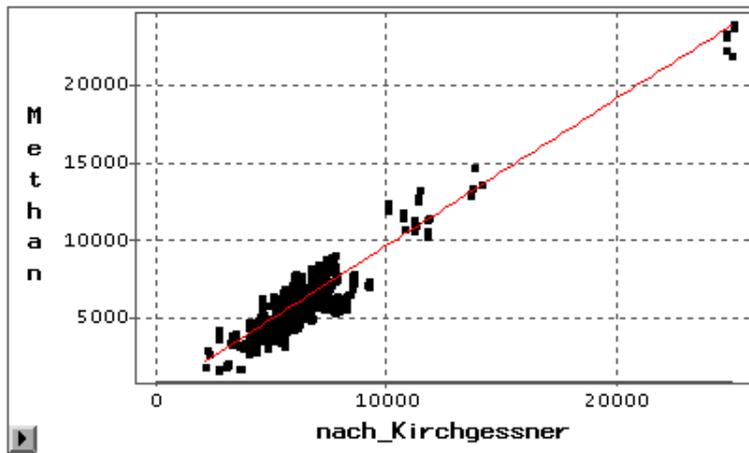
Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Stat	Pr > F
Model	1	9.849E+09	9.849E+09	6217.20	<.0001
Error	833	1.320E+09	1584114.41		
C Total	834	1.117E+10			

Type III Tests					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Stat	Pr > F
Baserga	1	9.849E+09	9.849E+09	6217.20	<.0001

Abbildung 13: Vergleich der berechneten (nach BASERGA) gegenüber den gemessenen Biogaserträgen.

Für den Vergleich der Methanerträge wurde aus dem Bereich der Tierernährung die Funktion der Bruttoenergie (GE) (Angaben in kJ) verwendet (Gleichung 22; KIRCHGEBNER, 2004). Im Unterschied zur theoretischen Berechnungsmethode nach BASERGA (Gasertragsberechnung nach reiner stöchiometrischer Betrachtung der Inhaltsstoffe), stützt sich diese Berechnung auf experimentelle Versuchsergebnisse. Die Umrechnung der Bruttoenergie in entsprechende Methanerträge erfolgte durch Multiplikation der berechneten Werte mit dem spezifischen Energieinhalt von Methan (35,86 kJ/l). Auch hier wurde bei der Berechnung der Gaserträge der Energieverlust für Fermentationswärme berücksichtigt (nach EDELMANN (2001), siehe Kapitel 3.2.2.2).

$$(22) \quad GE(kJ) = 23,9 \times XP(g) + 39,8 \times XL(g) + 20,1 \times XF(g) + 17,5 \times XX(g)$$



Model Equation	
Methan	= 127.304 + 0.9438 Kirchgesner

Summary of Fit			
Mean of Response	6089.6348	R-Square	0.8734
Root MSE	849.2791	Adj R-Sq	0.8733

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Stat	Pr > F
Model	1	4.146E+09	4.146E+09	5748.62	<.0001
Error	833	600821999	721274.908		
C Total	834	4.747E+09			

Type III Tests					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Stat	Pr > F
Kirchgesner	1	4.146E+09	4.146E+09	5748.62	<.0001

Abbildung 14: Vergleich der berechneten (nach KIRCHGEBNER) gegenüber den gemessenen Methanerträgen.

Bei beiden Ergebnissen ist festzustellen, dass die theoretischen Biogas- und Methanerträge mit den Versuchsergebnissen gut zueinander anpassen. Statistisch sind beide Regressionsgleichungen hoch signifikant und haben ein entsprechendes Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,88$  und  $R^2=0,87$ . Die Regressionsgeraden entsprechen der 45° Ursprungsgeraden mit nur geringen Abweichungen und kleinen Offsets.

Die Funktion der Laborfermenteranlage konnte somit validiert und die Ergebnisse mit statistischer Sicherheit als plausibel behandelt werden.

## 5.2 Überblick über die Biogas- und Methanerträge der verschiedenen Substrate

Im Folgenden werden die Gaserträge der untersuchten Inputmaterialien aufgelistet, um einen ersten Überblick über die Biogaserträge von Nawaros zu bekommen. Die Gaserträge sind dabei immer auf oTM bezogen.

### 5.2.1 Mais

Die in 2003 untersuchten Sorten zeigten eine breite Streuung der Trockenmassegehalte von 22 bis 47 % (Anhang 10.2 Tabelle 51), was auch einen deutlichen Unterschied im Rohfaser- und ADL-Gehalt bedingte. In der Ernte 2004 traten Trockenmassegehalte von 19 bis 39 % auf, was ebenfalls eine hohe Streuung der beide Gehalte verursachte (Anhang 10.2 Tabelle 52). Innerhalb der gleichen Sorte wurde dabei eine Zunahme der Trockensubstanzgehalte mit zunehmendem Reifegrad (bzw. Erntetermin) beobachtet.

Die Ergebnisse der Biogas- und Methanerträge aller Sorten sind in der Tabelle 38 und 39 (Anhang 10.1) für die entsprechenden Ernten in 2003 und 2004 dargestellt. Die Mittelwerte der Methanerträge aus den Silagen der getesteten Maissorten zeigten einen Schwankungsbereich für 2003 von 245 l bis 362 l Methan/kg oTM. Die Sorten, die in 2004 untersucht wurden, zeigten einen Schwankungsbereich von 248 l bis 432 l Methan/kg oTM.

Tabelle 26: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Maissorten (Kap. 4.4.1).

Substrate	Methanertrag				Variationskoeffizient	Methangehalt
	x	s	max	min	[ % ]	[ Vol.-% ]
2003	317,7	27,8	362,2	245,1	8,8	49,1
2004	363,3	23,9	431,7	248,2	6,6	49,5

Die Unterschiede liegen in erster Linie an der unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzung der verschiedenen Proben. Auf die Zusammenhänge wird in Kapitel 5.3 näher eingegangen.

---

## 5.2.2 Grünland

Bei den Grünlandaufwüchsen wurden wegen der begrenzten Kapazität der Laborfermentieranlage von jedem Standort und jeder Variante nur einige Schnitte getestet. Weil viele Schnitte sowohl frisch als auch siliert getestet werden sollten, war es nicht möglich die Substrate auf den Feldern anzuwelken. Daher waren die Trockenmassegehalte der silierten Varianten im Verhältnis viel zu niedrig und es wurden eigentlich Naßsilagen produziert (Trockenmassegehalte zwischen 16 und 25%).

Die weitere Charakterisierung der getesteten Varianten sind in den Tabellen 53 bis 57 im Anhang 10.2 für Grünlandaufwüchse dargestellt.

### 5.2.2.1 Versuchsort Spitalhof / Kempten

Die Grünlandvarianten aus Kempten zeigen, dass die Mittelwerte der Erträge aus 2003 von 425 l bis zu 800 l Biogas je kg oTM schwanken können. Dieselben Proben zeigen einen Schwankungsbereich von 164 l bis 424 l Methan je kg oTM (Anhang 10.1 Tabelle 40).

Bei den Erträgen von 2004 ergaben sich Mittelwerte von 590 l bis zu 668 l Biogas je kg oTM. Bei Methan liegen die Werte im Bereich von 297 l bis 342 l Methan je kg oTM (Anhang 10.1 Tabelle 41). Als praxisrelevante Substrate wurden nur Silagen untersucht.

### 5.2.2.2 Versuchsort Kringell / Passau

Die Grünlandvarianten aus Kringell liegen in einem sehr ähnlichen Bereich wie die Daten von Kempten. Sie ergaben Mittelwerte bei den Erträgen aus 2003 von 505 l bis zu 800 l Biogas je kg oTM. Die Proben zeigen bei Methan einen Schwankungsbereich von 188 l bis 417 l je kg oTM (Anhang 10.1 Tabelle 42).

### 5.2.2.3 Versuchsort Exlarn / Steinach

In Steinach wurde nur im Jahr 2003 ein Standort beprobt, wobei die Proben sowohl frisch als auch als Heu vergoren wurden. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Schnitten der Heuvarianten zeigt keine signifikante Differenz für die Methanerträge im Unterschied zu den Biogaserträgen und liegt bei einem Mittelwert von 206 l Methan je kg oTM (Abbildung 15).

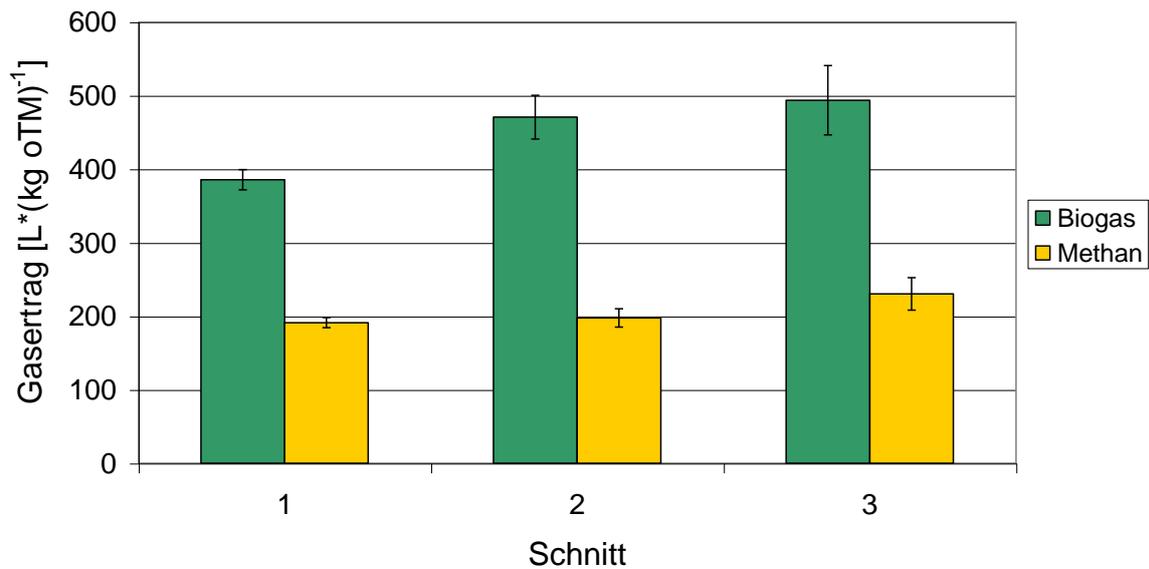


Abbildung 15: Biogas- und Methanertrag der verschiedenen Schnitte der Heuvarianten aus Steinach.

#### 5.2.2.4 Alle Standorte

Die Grünlandvarianten der verschiedenen Standorte zeigen, dass die Mittelwerte der Erträge aus Frischmaterial von 200 l bis zu 417 l Methan je kg oTM schwanken können. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 225 l bis 423 l Methan je kg oTM, und die Proben aus Heu (nur zwei Standorte s.o.) einen Schwankungsbereich von 187 l bis 230 l Methan je kg oTM.

Tabelle 27: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Grünlandaufwüchsen (Kap. 4.4.2).

Substrate	Methanertrag [ l * (kg oTM) <sup>-1</sup> ]				Variationskoeffizient [ % ]	Methangehalt [ Vol.-% ]
	x	s	max	min	Vk	
Spitalhof	313,8	31,21	423,8	163,8	9,8	49,3
Kringell	248,8	31,52	416,9	187,7	10,9	48,3
Exlarn	227,1	16,9	303,9	191,1	6,9	47,0

### 5.2.3 Gräser

In 2003 wurden nur zwei Weidelgräser (Liquattro und Andrea), ein Rotklee (Titus) und zwei Luzernen (Fee und Planet) getestet. Die Charakterisierung der Varianten sind in Tabelle 58 im Anhang 10.2 dargestellt und die Biogas- und Methanerträge im Anhang 10.1 Tabelle 45.

Die Charakterisierung der Weidelgräser ist in der Tabelle 59 im Anhang 10.2 dargestellt. Die untersuchten Weidelgräser zeigen einen großen Schwankungsbereich bei der Weender-Analyse. Die Trockenmassegehalte schwankten zwischen 11% und 36%, Rohprotein zwischen 10% und 31% der TM, Rohfaser zwischen 16% und 33% der TM und Rohfett zwischen 1 und 5% der TM. Die verschiedenen Sorten der Weidelgräser haben Erträge von 477 l bis zu 846 l Biogas je kg oTM und von 198 l bis zu 443 l Methan je kg oTM (Anhang 10.1 Tabelle 46).

Die verschiedenen Sorten der anderen Gräser produzieren Gaserträge von 443 l bis zu 711 l Biogas je kg oTM und von 208 l bis zu 381 l Methan je kg oTM schwanken können (Tabelle 47 im Anhang 10.1). Der Schwankungsbereich ist geringer als der von den Weidelgräsern. Dies liegt in erster Linie an der geringeren Spannbreite der Trockenmassegehalte (von 15 bis 29 %) und des Rohproteingehaltes (von 10 bis 27 % der TM) (s. u. Kapitel 5.3: Abhängigkeit der Gaserträge von dem Trockenmasse- und Rohproteingehalt).

Die Charakterisierung der Leguminosen die in 2004 untersucht wurden, sind in der Tabelle 61 im Anhang 10.2 aufgelistet. Die Erträge der verschiedenen Sorten liegen zwischen 390 l und 714 l Biogas je kg oTM und zwischen 198 l und 363 l Methan je kg oTM (Tabelle 48 im Anhang 10.1). Auch hier ist der Schwankungsbereich geringer als der von Weidelgräsern und auch geringer als der von Gräsern, was auf den relativ konstanten Rohproteingehalt von 20 bis 29 % der TM zurückzuführen ist.

Tabelle 28: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Gräser (Kap. 4.4.3).

Substrate	Methanertrag				Variationskoeffizient [ % ]	Methangehalt [ Vol.-% ]
	x	s	max	min		
Gräser	294,6	25,4	381,6	203,1	8,8	50,6
Weidelgräser	318,4	28,5	443,0	198,1	8,9	49,8
Leguminosen	262,3	26,4	363,3	198,9	10,1	50,8

## 5.2.4 Andere Nawaro

Die Nawaro die in 2003 untersucht wurden, sind in der Tabelle 62 im Anhang 10.2 charakterisiert. Es treten sehr große Unterschiede hinsichtlich der Weender-Analyse und der erweiterte Weender-Analyse auf. Die verschiedenen Arten und Sorten erbringen Gaserträge

von 231 l bis zu 816 l Biogas je kg oTM und von 122 l bis zu 376 l Methan je kg oTM (Tabelle 49 im Anhang 10.1).

Auch die 2004 untersuchten Nawaro (s. Tabelle 63, Anhang 10.2) zeigten große Unterschiede bei der Weender-Analyse und der erweiterte Weender-Analyse. Die Werte der verschiedenen Arten und Sorten zeigen, dass die Gaserträge von 333 bis zu 723 l Biogas je kg oTM und von 141 bis zu 355 l Methan je kg oTM schwanken (Tabelle 50 im Anhang 10.1).

Tabelle 29: Zusammenfassung: Methanerträge der beprobten Nawaro (Kap. 4.4.4).

Substrate	Methanertrag				Variationskoeffizient	Methangehalt
	x	s	max	min	[ % ]	[ Vol.-% ]
2003	264,2	27,3	376,1	122,9	Vk 11,1	49,3
2004	275,5	25,1	355,0	141,3	9,3	49,4

In beiden Jahren sind hohe Spannbreiten des Rohproteingehaltes (von 3 bis 31 % der TM) und des NDF-Gehaltes (von 13 bis 80 % der TM) zu beobachten, was die großen Schwankungen der Methanerträge erklärt (siehe Kapitel 10.1 im Anhang).

### 5.3 Abhängigkeit der Gaserträge von dem Trockenmasse- und Rohproteingehalt

Beim Vergleich der Gaserträge mit den verschiedenen stofflichen Parametern der Substrate wurden mehrere Abhängigkeiten und Zusammenhänge beobachtet.

In Abbildung 16 sind die spezifischen Methanerträge gegen den Trockensubstanzgehalt der Maisproben aufgetragen. Auffallend ist die Abnahme des Gasertrags mit zunehmendem TS-Gehalt der Probe. Dies deutet darauf hin, dass mit zunehmendem TS-Gehalt eine Verholzung und damit Lignifizierung der Pflanze einhergeht. Da Lignin im Biogasprozess nicht abgebaut wird, verschlechtert sich infolge dessen auch der spezifische Gasertrag.

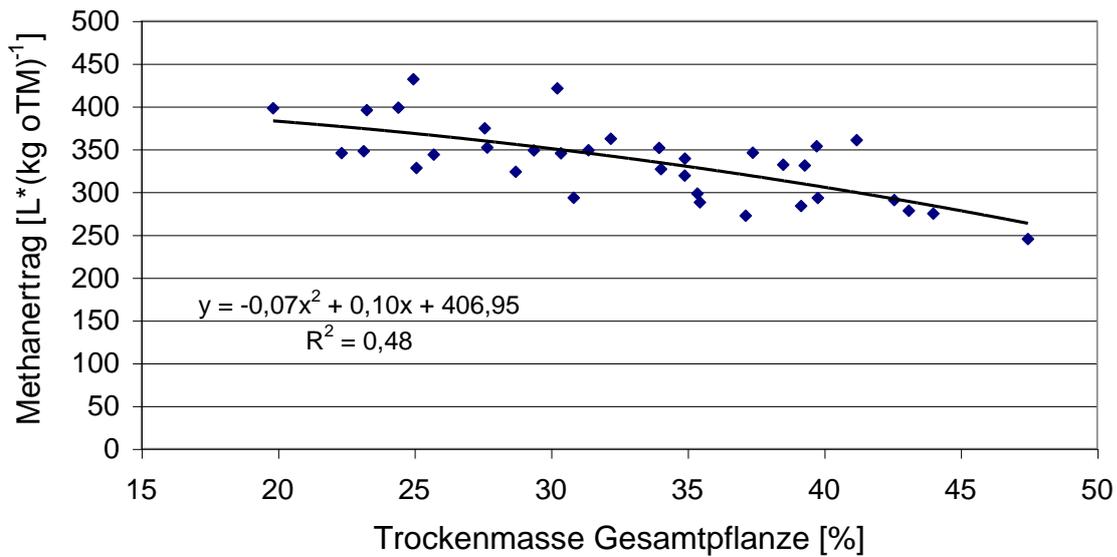


Abbildung 16: Methanertrag aller Maissorten in Abhängigkeit des Trockenmassegehaltes.

Die Abhängigkeit der Gaserträge vom TS-Gehalt bewirkt bei den nach KEYMER & SCHILCHER (1999) berechneten Erträgen eine Unterschätzung bei niedrigen TS-Werten und eine Überschätzung bei höheren TS-Werten (Abbildung 17). Dies liegt daran, dass die Verdaulichkeiten bei den Futterwerttests immer bei den gleichen TS-Gehalten von ca. 35% gemessen werden, die Verweilzeit bei maximalen 144 Stunden liegen und deswegen entsprechende Variabilitäten bei der „Keymer-Methode“ nicht berücksichtigt werden können.

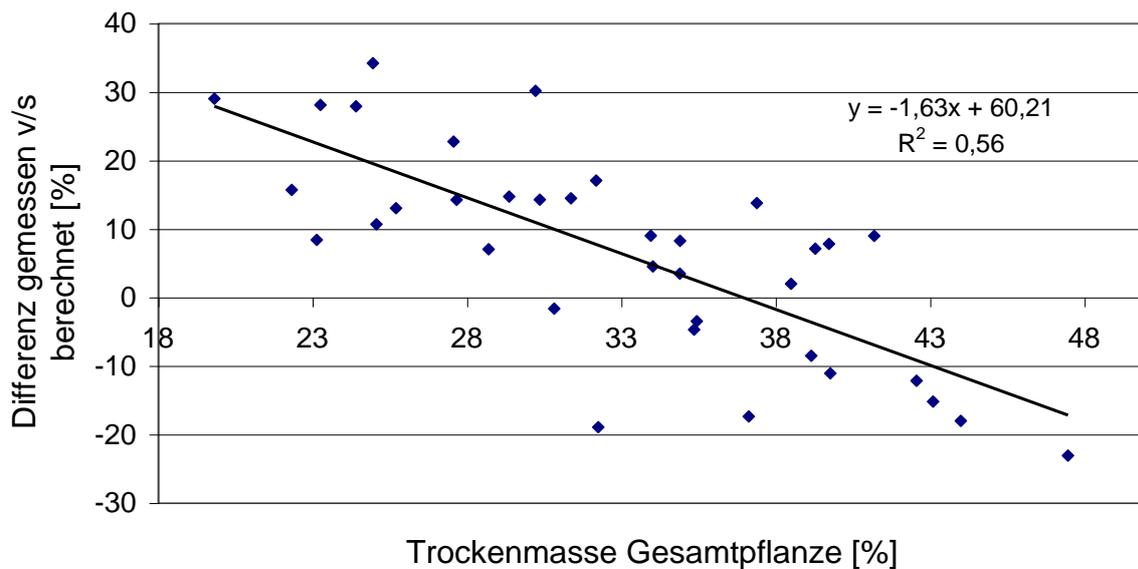


Abbildung 17: Gasertragsdifferenz zwischen gemessene und berechnete (nach KEYMER) Maissorten.

Bei den Gräsern treten ähnliche Abhängigkeiten der Gaserträge auf. Am Beispiel der Weidelgräser (Abbildung 18) zeigen sich wieder niedrigere Gaserträge mit zunehmender Trockenmasse. Der Effekt ist hier jedoch etwas weniger ausgeprägt als bei Maissilage, was auf den generell niedrigeren Verholzungs- bzw. Lignifizierungsgrad bei Gräsern zurückzuführen ist.

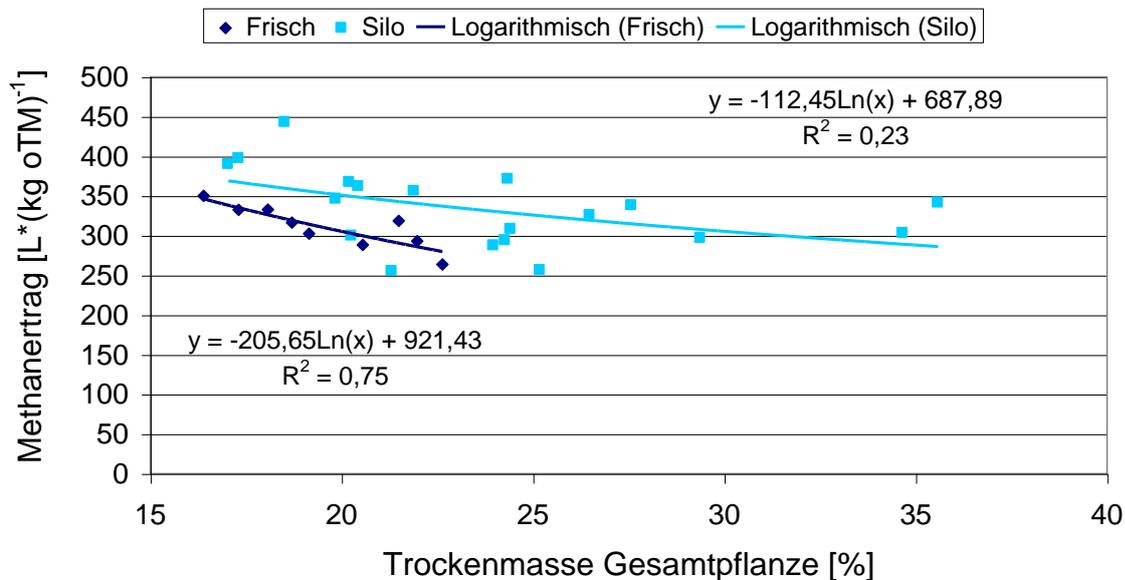


Abbildung 18: Methanertrag Weidelgräser in Abhängigkeit des Trockenmassegehaltes.

Zusätzlich wurde hinsichtlich des Methanertrags aus der organischen Trockenmasse eine hohe Abhängigkeit vom Gehalt des Rohproteins beobachtet. Je höher der Rohproteingehalt, desto geringer der Methanertrag (Abbildung 19). Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass mit steigendem Rohproteingehalt im Substrat das C/N-Verhältnis reduziert wird und in Folge eine Erhöhung des Ammoniumsgehaltes im Gärsubstrat auftritt. Dieser Anstieg kann zu einer Hemmung des Prozesses führen, wodurch das Gasertragspotenzial proteinreicher Substrate deutlich unterschätzt werden kann. Dieses Phänomen tritt umso stärker auf, je geringer das C/N-Verhältnis, beziehungsweise der Ammonium-N-gehalt im Animpfmateriale (Standardinokulum) ist. Daher ist es wichtig, in Batchversuchen darauf zu achten, dass zum Test von proteinreichen Substraten nicht nur das oTS-Verhältnis zwischen Testsubstrat und Impfmateriale zu standardisieren ist, sondern auch das C/N-Verhältnis.

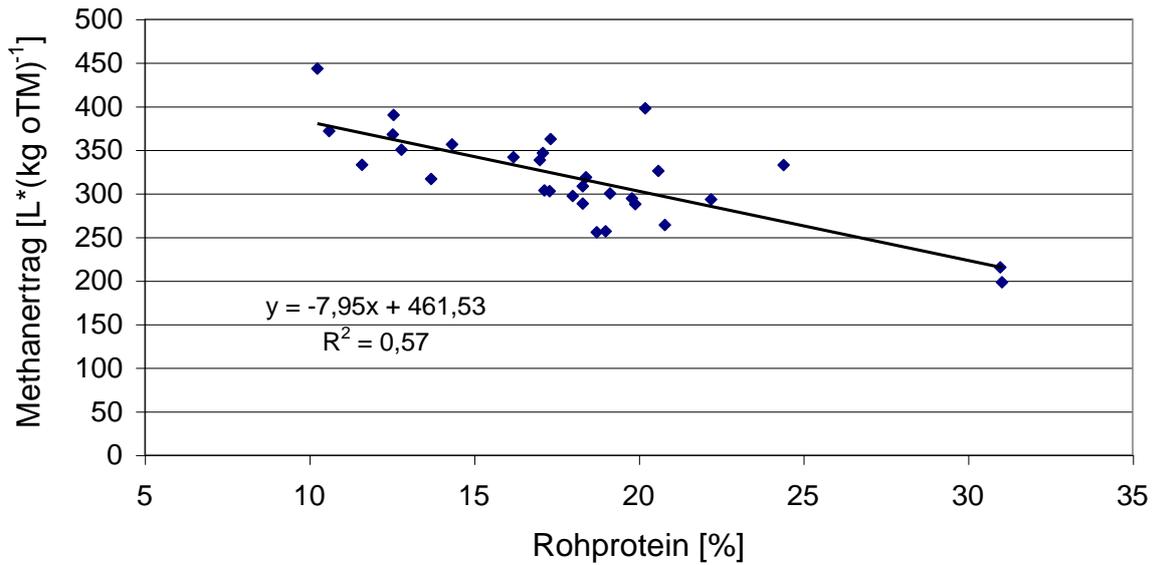


Abbildung 19: Methanertrag Weidelgräser in Abhängigkeit des Rohproteingehaltes.

## 5.4 Relation zwischen Methanerträge und Verdaulichkeit der organische Masse

Wird die Verdaulichkeit der organische Masse aus der Differenz zwischen Bruttoenergie (GE) und Gasertrag des Versuches hochgerechnet, ergibt sich ein enger Zusammenhang mit den entsprechenden Methanerträgen je kg organische Trockenmasse aller Substrate (n=206; Abbildung 20).

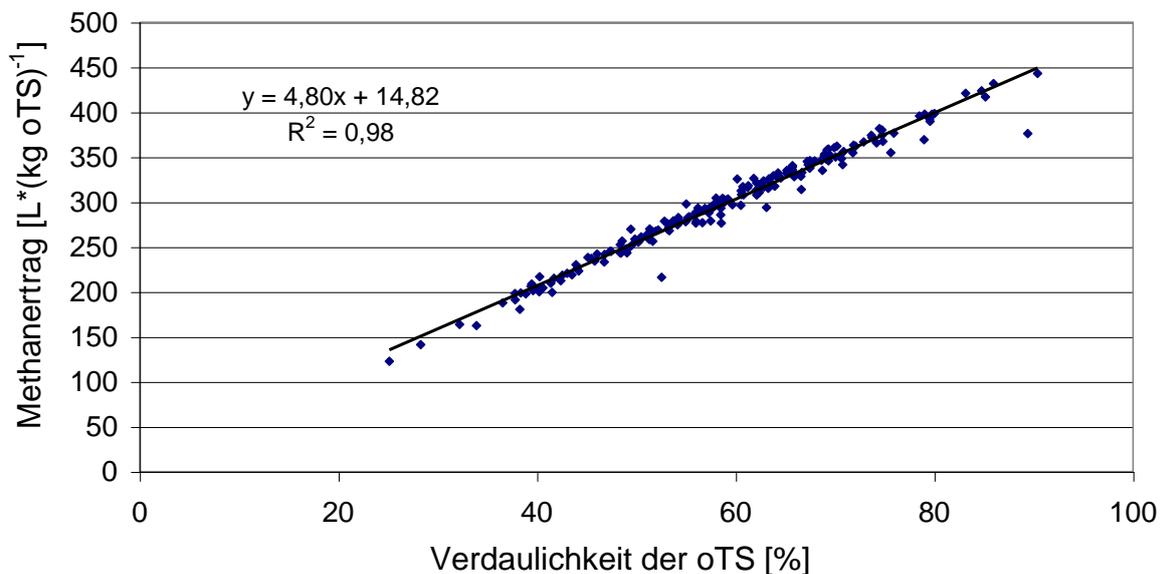


Abbildung 20: Relation zwischen Methanerträge und Verdaulichkeit der organischen Masse.

---

Diese Verdaulichkeit entspricht dem Abbaugrad der gesamten organischen Trockenmasse nach 35 Tage Vergärung. Da die Relation eine lineare Korrelation mit einem hohen Bestimmtheitsmaß ( $R^2=0,98$ ) ergibt, wurden die statistischen Auswertungen dieser Arbeit direkt auf die Biogas- und Methanerträge bezogen. Somit wurde der Zwischenschritt nicht benötigt und es wurden direkt aus den Inhaltsstoffen der verschiedenen Substrate praxisrelevante Energieergebnisse erzielt. Die Methanerträge spiegeln dabei direkt die Verdaulichkeiten wieder.

## **5.5 Biogas- und Methanerträge der einzelnen abgebauten Inhaltsstoffe**

Wie im Kapitel (5.1) dargestellt wurde, ist es möglich aus der Input-Output Differenz der Inhaltsstoffgehalte und den bekannten Berechnungsmodellen aus der Literatur (BASERGA, 1998 und KIRCHGEBNER, 2004) den Biogas- und Methanertrag hochzurechnen.

Da eine hohe Anzahl an Vergärungen für die statistische Auswertung zur Verfügung stehen, ist es möglich mit einer multiplen linearen Regressionsanalyse die Biogas- und Methanerträge mit eigenen Koeffizienten im Vergleich zu BASERGA (1998) und KIRCHGEBNER (2004) hochrechnen zu können. Zudem wurde zusätzlich ein Vergleich zwischen den Gleichungen auf Basis der Weender-Analyse und der erweiterten Weender-Analyse durchgeführt.

### **5.5.1 Biogas- und Methanerträge auf Basis der Weender-Analyse**

In der Gleichung 23 und Tabelle 30 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Biogasertrag aus den abgebauten Inhaltsstoffen dargestellt. Die Varianzanalyse hat einen F-Wert von 827,95 der hoch signifikant ist ( $p<0,001$ ). Das Bestimmtheitsmaß liegt bei  $R^2=0,910$  (Anhang 10.4.1.1) und stellt eine gute statistische Sicherheit dar.

$$(23) \quad y(ml) = x_0 + 356 \times XP(g) + 1699 \times XL(g) + 881 \times XF(g) + 756 \times XX(g)$$

Tabelle 30: Regressionskonstanten für Biogas aus den abgebauten Inhaltsstoffe (WA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	867	1754	50,6
Grünland	205	1343	84,7
Nawaro	294	818	64,1
Mais	-	1351	-

Bei der Betrachtung der Konstante ( $x_0$ ) ist in diesem Fall ein Einfluss der Silierung zu erkennen. Das könnte auf einem methodischen Fehler zurückgeführt werden. Wie MUKENGELE & OECHSNER (2007) in Ihrer Veröffentlichung zeigten, gibt es einen Fehler bei der Hochrechnung von Biogas- und Methanerträgen aus Silagen. Der Fehler entsteht während der Trockenmassebestimmung, bei der alle organischen Säuren die viel Gas produzieren verdampfen und somit nicht gemessen werden. Werden danach die Gaserträge auf die verbliebene organische Trockenmasse bezogen, sind die berechneten Gasausbeuten pro kg oTM höher als die Tatsächlichen. Das könnte eine Erklärung sein warum bei der Gleichung 23 die Konstante bei den Silagen höher ist als bei den frischen Substraten.

Für den Vergleich mit der Literatur (AMON et al., 2006; AMON et al., 2003; BASERGA, 1998) wird die Regressionsanalyse vereinfacht und die Konstante ( $x_0$ ) eliminiert. Dies ist auch insofern sinnvoll, da keine Gasproduktion stattfinden soll, wenn keine Inhaltsstoffe zur Verfügung stehen (was bei einer Konstante in der Gleichung aber der Fall wäre). Somit ist es möglich den Biogasertrag der einzelnen Inhaltsstoffe zu ermitteln, da die Regressionskurve den Nullpunkt der Achsen schneidet. Es ergibt sich die Gleichung 24.

$$(24) \quad y(ml) = 652 \times XP(g) + 1599 \times XL(g) + 1146 \times XF(g) + 724 \times XX(g) \quad [R^2=0,987]$$

In der Veröffentlichung von BASERGA (1998), die auch von KEYMER & SCHILCHER (1999) verwendet wurde, wird bei Rohfaser (XF) und bei den Stickstoff-freien-Extraktstoffen (XX) dieselbe Menge Biogas pro Kilogramm Inhaltsstoff berechnet. In Gleichung 24 ergibt sich aus der Auswertung ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Inhaltsstoffen. Weil bei Nawaro ungefähr 70% des organischen Anteils aus Stickstoff-freien-Extraktstoffen besteht und nur zu 20% aus Rohfaser, würde daraus folgen, dass als Mittelwert der Biogasbildung aus Kohlenhydraten 817 Liter pro Kilogramm oTM erreicht würden.

In diesem Fall wäre die Biogasausbeute im Versuch aus Kohlenhydrate höher als die theoretisch berechneten von 790 Liter pro Kilogramm. Weiterhin ergab die Regressionsanalyse 1599 Liter Biogas pro Kilogramm Rohfett, was ebenfalls höher ausfällt als die theoretischen 1250 Liter pro Kilogramm der Literatur (KEYMER & SCHILCHER, 1999; BASERGA, 1998). Diese Ergebnisse könnten auf einen Synergieeffekt zwischen Substrat und Inokulum hinweisen, der bis heute nur durch Mischungen von Substraten ermittelt wurde, aber nicht in der Mischung mit einer Nullprobe (MUKENGELE et al., 2006). Bei Rohprotein (XP) ist die ermittelte Biogasproduktion jedoch niedriger als der theoretische Ertrag von 700 Liter pro Kilogramm, was einem Synergieeffekt widersprechen würde.

In der Gleichung 25 und Tabelle 31 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Methanertrag aus den abgebauten Inhaltsstoffen dargestellt. Die Varianzanalyse ergibt einen F-Wert von 761,85 (hoch signifikant, ( $p < 0,001$ )). Alle Regressionskoeffizienten sind hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und das Bestimmtheitsmaß liegt bei  $R^2 = 0,903$  (Anhang 10.4.1.2).

$$(25) \quad y(ml) = x_0 + 250 \times XP(g) + 1386 \times XL(g) + 517 \times XF(g) + 465 \times XX(g)$$

Tabelle 31: Regressionskonstanten für Methan aus den abgebauten Inhaltsstoffen (WA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	59	678	91,3
Grünland	- 234	209	212,0
Nawaro	- 578	- 26	95,5
Mais	-	224	-

Wird die Regressionsanalyse für den Vergleich mit der Literatur (AMON et al., 2006; AMON et al., 2003; BASERGA, 1998) vereinfacht und die Konstante ( $x_0$ ) eliminiert um den Biogasertrag der einzelnen Inhaltsstoffe zu erhalten (so dass die Regressionskurve durch den Nullpunkt der Achsen geht), ergibt sich die Gleichung 26.

$$(26) \quad y(ml) = 408 \times XP(g) + 1354 \times XL(g) + 589 \times XF(g) + 427 \times XX(g) \quad [R^2 = 0,985]$$

Wie schon im Kapitel 5.1 erwähnt wurde, sind die gemessenen Methanerträge niedriger als die theoretisch erwarteten. Dieses Ergebnis ist bei allen Regressionskoeffizienten zu sehen. Deswegen ist im Hinblick auf die Methanausbeute ein Synergieeffekt zwischen Substrat und Standardinokulum auszuschließen.

Werden die Regressionskoeffizienten beider Gleichungen (24 und 26) aus der Weender-Analyse in Relation gesetzt, ist es möglich den Methangehalt der Biogasproduktion der einzelnen Inhaltsstoffe zu berechnen. Der Biogasertrag aus Rohprotein enthält 62,6% Methan und ist damit niedriger als die erwarteten 71% (KEYMER & SCHILCHER, 1999). Derselbe Methangehalt wurde bei den Versuchen von CZEPUCK et al. (2006) für Gelatine (62%) und Casein (63%) erreicht. Der Biogasertrag aus Rohfaser enthält 51,4% Methan, was gut mit den erwarteten 50% übereinstimmt (KEYMER & SCHILCHER, 1999). Rohfett ist im produzierten Biogas zu 84,7% in Methan umgewandelt, was viel höher ausfällt als der theoretisch berechnete Umsatz von 68% und auch viel höher als von CZEPUCK et al. (2006) gemessen wurde. Die Stickstoff-freien-Extraktstoffen brachten ein Methangehalt von 59%, der auch höher ist als die erwarteten 50% (KEYMER & SCHILCHER, 1999).

### 5.5.2 Biogas- und Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse

In Gleichung 27 und Tabelle 31 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Biogasertrag der abgebauten Inhaltsstoffe dargestellt. Für diese Darstellung wurde der Anteil ADL der erweiterten Weender-Analyse aus der Auswertung eliminiert, da Lignin bei der anaeroben Vergärung nicht abbaubar ist. Das wurde bei einer ersten statistischen Analyse auch bestätigt, bei der der Mittelwert (x) des abgebauten Lignins im Verhältnis zu den anderen Inhaltsstoffen unter einem Promille lag.

Die Varianzanalyse der Regression hat einen F-Wert von 798,57 (hoch signifikant,  $p < 0,001$ ), alle Regressionskoeffizienten sind ebenso hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und das Bestimmtheitsmaß liegt bei  $R^2 = 0,917$  (Anhang 10.4.1.3).

$$(27) \quad y(ml) = x_0 + 376 \times XP(g) + 1854 \times XL(g) + 557 \times OR(g) + 896 \times HC(g) + 748 \times CL(g)$$

Tabelle 32: Regressionskonstanten für Biogas aus den abgebauten Inhaltsstoffen (EWA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	987	2124	53,5
Grünland	222	1434	84,5
Nawaro	459	891	48,5
Mais	-	1725	-

Das Ergebnis zeigt ähnlich wie Gleichung 23 auch hier einen erhöhten Biogasertrag bei den Silagen, was auf den gleichen Effekt (s.o.) zurückgeführt wird.

Wird die Regressionsanalyse für den Vergleich mit der Literatur (AMON et al., 2006; AMON et al., 2003; BASERGA, 1998) vereinfacht und die Konstante ( $x_0$ ) eliminiert um den realistischen Biogasertrag der einzelnen Inhaltsstoffe zu bekommen ergibt sich die Gleichung 28.

$$(28) \quad y(ml) = 719 \times XP(g) + 1768 \times XL(g) + 685 \times OR(g) + 871 \times HC(g) + 914 \times CL(g)$$

$$[R^2=0,986]$$

Bei der Gleichung ergibt sich ein Biogasertrag für Rohprotein wie der theoretisch erwartete (BASERGA, 1998). Das Rohfett zeigt eine höhere Gasproduktion als bei Gleichung 24. Für Hemicellulose und den organischen Rest gibt es bisher keine theoretischen Werte aus Literaturangaben. Die Ergebnisse der Analyse stellen die wesentliche Erweiterung der bisherigen Ausbeutemodelle dar.

In Gleichung 29 und Tabelle 33 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Methanertrag aus den abgebauten Inhaltsstoffen dargestellt. Die Varianzanalyse ergibt einen hochsignifikanten F-Wert von 729,09 ( $p < 0,001$ ), die Regressionskoeffizienten sind mit  $p < 0,001$  ebenso hochsignifikant und das Bestimmtheitsmaß ist  $R^2=0,910$  (Anhang 10.4.1.4).

$$(29) \quad y(ml) = x_0 + 275 \times XP(g) + 1449 \times XL(g) + 352 \times OR(g) + 564 \times HC(g) + 432 \times CL(g)$$

Tabelle 33: Regressionskonstanten für Methan aus abgebauten Inhaltsstoffen (EWA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	74	842	91,2
Grünland	- 276	222	224,3
Nawaro	- 471	- 19	96,0
Mais	-	391	-

Wird die Regressionsanalyse wie oben vereinfacht und die Konstante ( $x_0$ ) eliminiert um den Biogasertrag der einzelnen Inhaltsstoffe zu bekommen, ergibt sich Gleichung 30.

$$(30) \quad y(ml) = 454 \times XP(g) + 1442 \times XL(g) + 376 \times OR(g) + 523 \times HC(g) + 467 \times CL(g)$$

$$[R^2=0,985]$$

Werden beide Gleichungen (28 und 30) aus der erweiterte Weender-Analyse in Relation gesetzt, ist es möglich den Methangehalt der Biogasproduktion der einzelnen Inhaltsstoffe zu

berechnen. Der Biogasertrag aus Rohprotein enthält 63,1% Methan, was fast dem gleichen Wert wie bei der normalen Weender-Analyse (Kapitel 5.5.1) entspricht. Der Rohfettanteil produziert im Biogas einen Methangehalt von 81,6%. Dieser liegt damit wesentlich höher, als die erwarteten 68% und auch viel höher als von CZEPUCK et al. (2006) gemessen wurden. Er stimmt jedoch gut mit dem im Kapitel 5.5.1 ermittelten Wert überein. Der organische Rest brachte einen Methangehalt von 54,9%, der etwas höher liegt als die von XX erwarteten 50% (KEYMER & SCHILCHER, 1999). Hemicellulose verursacht einen Methangehalt im produzierten Biogas von 60% und Cellulose von 51%. Diese Werte sind gleich groß wie die von BASERGA (1998) ermittelten, was nicht weiter verwunderlich ist, da sich Basergas Berechnungen für Rohfaser und Stickstoff-freien-Extraktstoffe auf Cellulose beziehen.

## 5.6 Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs (Substrat + Inokulum)

Als dritte Auswertung wurde der gesamte Input (Mischung zwischen Substrat und Standardinokulum) und dessen entsprechender Biogas- und Methanertrag untersucht.

Hier wurde ein negativer Einfluss des Ligningehaltes in der Mischung festgestellt. Je höher der ADL-Gehalt in der Mischung ist, desto niedriger fällt der Methanertrag aus (Abbildung 21).

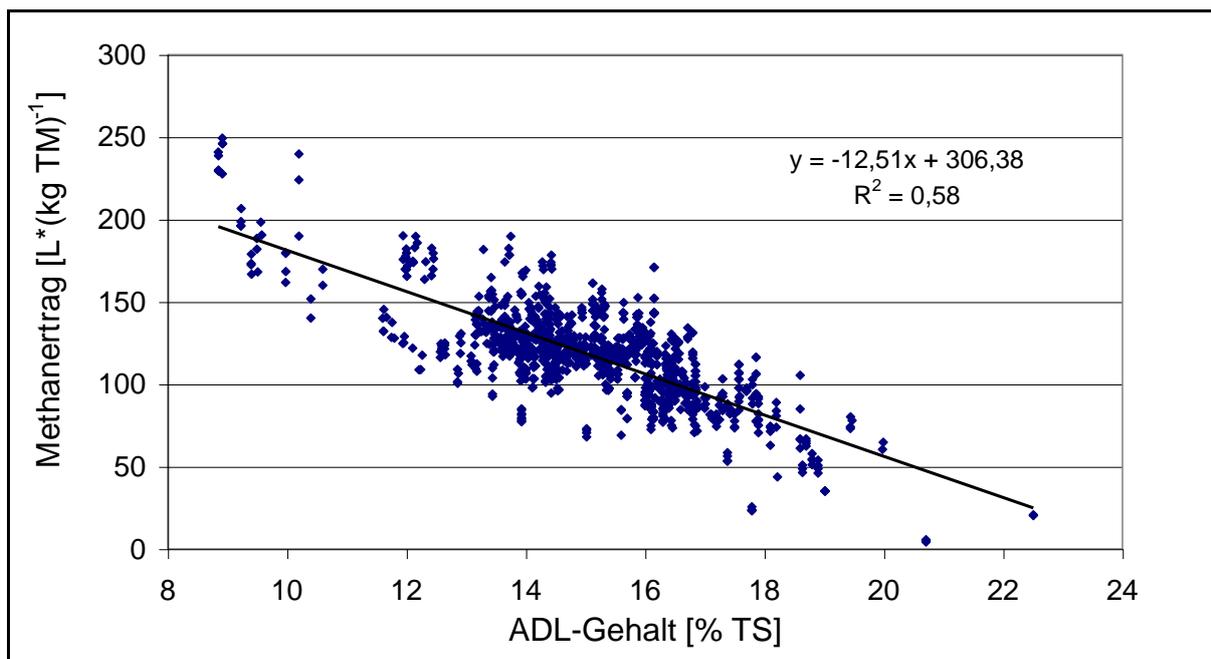


Abbildung 21: Einfluss des ADL-Gehaltes auf den Methanertrag.

Da aus diesem Ergebnis festgestellt wurde, dass der ADL-Gehalt eine wichtige Rolle spielt, wurden die Auswertungen ab hier nur auf die erweiterte Weender-Analyse bezogen. Die statistischen Auswertungen für die Weender-Analyse sind zusätzlich im Anhang 10.4.2 aufgelistet.

### 5.6.1 Biogasertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse

In der Gleichung 31 und Tabelle 34 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Biogasertrag aus dem gesamten Input dargestellt. Die Varianzanalyse hat einen F-Wert von 612,00 (hoch signifikant ( $p < 0,001$ )), wie bei den vorigen Analysen sind alle Regressionskoeffizienten ebenfalls hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2 = 0,902$  (Anhang 10.4.2.3).

(31)

$$y(ml) = x_0 + 161 \times XP(g) + 1518 \times XL(g) + 468 \times OR(g) + 749 \times HC(g) + 384 \times CL(g) - 757 \times ADL(g)$$

Tabelle 34: Regressionskonstanten für Biogas aus gesamtem Input (EWA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	1138	1412	19,4
Grünland	851	1600	46,8
Nawaro	624	1779	64,9
Mais	-	1558	-

Der Vergleich der Regressionskonstanten weist den Effekt der Silierung, wie schon bei den anderen Analysen, noch deutlicher aus.

Die vereinfachte Regressionsanalyse ergibt nach der Eliminierung der Konstante ( $x_0$ ) die Gleichung 32.

(32)

$$y(ml) = 172 \times XP(g) + 1522 \times XL(g) + 502 \times OR(g) + 717 \times HC(g) + 376 \times CL(g) - 579 \times ADL(g)$$

[ $R^2 = 0,989$ ]

Diese Ergebnisse der Regressionsanalyse spiegeln die Abbildung 21 wieder, wo der starke negative Einfluss des ADL-Gehaltes dargestellt wurde. Pro Gramm ADL in der Mischung reduziert sich der Biogasertrag dabei um 579 ml Biogas. AMON et al. (2006) haben diesen

Effekt nur geschätzt und den niedrigen Methanertrag von reifem Silomais im Vergleich mit jüngeren Vegetationsstadien auf ein günstigeres Verhältnis der Inhaltsstoffe (speziell bei Rohfaser) zurückgeführt. Es wurde dabei auch keine erweiterte Weender-Analyse durchgeführt.

## 5.6.2 Methanertrag auf Basis der erweiterten Weender-Analyse

In der Gleichung 33 und Tabelle 35 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Methanertrag aus dem gesamten Input dargestellt. Der F-Wert der Varianzanalyse liegt bei 572,90 (hoch signifikant ( $p < 0,001$ )), die Regressionskoeffizienten sind hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) und das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2 = 0,896$  (Anhang 10.4.2.4).

(33)

$$y(ml) = x_0 + 216 \times XP(g) + 1172 \times XL(g) + 299 \times OR(g) + 454 \times HC(g) + 202 \times CL(g) - 536 \times ADL(g)$$

Tabelle 35: Regressionskonstanten für Methan aus gesamtem Input (EWA)

Substrat	$x_0$ (ml)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	- 193	- 12	93,8
Grünland	- 156	- 19	87,8
Nawaro	- 695	314	145,2
Mais	-	- 31	-

Nach der Eliminierung der Konstante (Nullpunktskorrektur), ergeben sich die Werte in Gleichung 34.

(34)

$$y(ml) = 190 \times XP(g) + 1181 \times XL(g) + 275 \times OR(g) + 455 \times HC(g) + 216 \times CL(g) - 502 \times ADL(g)$$

[ $R^2 = 0,986$ ]

Bei der Auswertung nach dem gesamten Inputmaterial ergibt sich laut den vorigen Gleichungen (33 und 34) eine relativ geringe Gasproduktion aus Rohprotein. Daraus lässt sich der hemmende Einfluss des verfügbaren Stickstoffs auf den Gärprozess ableiten: Im gesamten Inputmaterial befindet sich, auf Trockenmasse bezogen, nur 20% Substratmenge. Der restliche bzw. Hauptanteil stammt aus dem Standardinokulum. Standardinokulum ist ein Gärrest aus einer Mischung mit einem hohen Anteil von Rindergülle, und damit auch einem hohen Gehalt an Stickstoff. Infolge dessen hat die Mischung ein sehr niedriges C/N-

---

Verhältnis von 6,3 (wenn Ammonium als Stickstoffbasis für das Verhältnis betrachtet wird). Das C/N-Verhältnis der Inhaltsstoffe aus den Daten der Weender-Analyse (LEMMER & OECHSNER, 2001) liegt im Mittelwert des Versuches bei 14,9. Das insgesamt niedrigere C/N-Verhältnis wirkt sich aufgrund der Ammoniumhemmung negativ auf die Vergärung in den Reaktoren aus. Ist der Anteil an Roprotein vom Substrat noch höher, wirkt er sich dementsprechend negativ aus. Die Darstellung des Methanertrags in Abhängigkeit des Rohproteingehalts verdeutlicht diesen Zusammenhang (Abbildung 19 im Kapitel 5.3).

Im Umkehrschluss bedeutet diese Hemmung jedoch nicht, dass Substrate mit hohen Rohproteingehalten nicht für die Vergärung geeignet sind. In der Praxis müssen solche Substrate jedoch mit anderen kohlenstoffhaltigen Substraten gemischt werden, um so ein optimalens C/N-Verhältnis für die Vergärung zu erreichen.

## **5.7 Biogas- und Methanerträge in bezug auf die Frischmasse**

Da aus den Versuchen auch für die Praxis direkt verwertbare Aussagen getroffen werden sollen, wurde eine weitere Auswertung der Biogas- und Methanerträge auf g Inhaltsstoffe pro kg FM bezogen. Die Auswertung wurde in derselben Reihenfolge wie beim vorigen Kapitel (5.6) vorgenommen. Die Ergebnisse für Gleichungen aus der Weender-Analyse sind im Anhang 10.4.4.1 und 10.4.4.2 dargestellt.

### **5.7.1 Biogaserträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse**

In der Gleichung 35 und Tabelle 36 sind die Koeffizienten der bereinigten Regressionsanalyse für den Biogasertrag aus g/kg FM dargestellt. Die Varianzanalyse hat einen F-Wert von 505,42 der hoch signifikant ist ( $p < 0,001$ ), alle Regressionskoeffizienten sind hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) außer für Rohfett der nur signifikant ist ( $p < 0,05$ ) und die Regressionskoeffizient für Rohprotein und ADL wurden als nicht signifikant ermittelt. Das Bestimmtheitsmaß ist für diese Gleichung (35) von  $R^2 = 0,883$  (Anhang 10.4.3.3).

$$(35) \quad y(l/kg) = x_0 + 0,016 \times XP(g/kg) + 0,737 \times XL(g/kg) + 0,554 \times OR(g/kg) \\ + 0,856 \times HC(g/kg) + 0,519 \times CL(g/kg) - 0,152 \times ADL(g/kg)$$

Tabelle 36: Regressionskoeffizienten für Biogas aus g/kg FM (EWA)

Substrat	$x_0$ (l/kg)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	25	29	13,8
Grünland	31	30	3,2
Nawaro	18	18	0,0
Mais	-	36	-

Bei dieser Gleichung war der Wilks-Lambda-Wert von 0,07 mit einem F-Wert von 68,86 hoch signifikant ( $p < 0,001$ ). Somit wurde die Null-Hypothese abgelehnt (Anhang 10.4.4.3). Bei der Auswertung wurde nach der Mittelwertanalyse (LSMEAN) festgestellt dass hier zwar ein signifikanten Unterschied zwischen den Substratarten auftrat, nicht jedoch zwischen den Konservierungsformen auftrat.

Nach der Nullpunktskorrektur erhält man Regressionskoeffizienten für die einzelnen Inhaltsstoffe laut Gleichung 36. Auffallend sind die deutlich unterschiedlichen Koeffizienten der Rohprotein- (XP) und ADL-Fraktion, was auf die Nichtsignifikanz der unkorrigierten Regression zurückzuführen ist.

$$(36) \quad y(l/kg) = 0,307 \times XP(g/kg) + 0,781 \times XL(g/kg) + 0,627 \times OR(g/kg) \\ + 0,938 \times HC(g/kg) + 0,691 \times CL(g/kg) - 0,358 \times ADL(g/kg) \\ [R^2=0,983]$$

### 5.7.2 Methanerträge auf Basis der erweiterten Weender-Analyse

Der Methanertrag aus der bereinigten Regressionsanalyse ist in Gleichung 37 und Tabelle 37 in Bezug auf g/kg FM dargestellt. Die Varianzanalyse ergab einen F-Wert von 365,84 (hoch signifikant, ( $p < 0,001$ )), alle Regressionskoeffizienten sind hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) außer für Rohprotein und ADL, die nicht signifikant Einfluß nehmen. Das Bestimmtheitsmaß liegt bei  $R^2=0,846$  (Anhang 10.4.3.4).

$$(37) \quad y(l/kg) = x_0 - 0,024 \times XP(g/kg) + 0,594 \times XL(g/kg) + 0,242 \times OR(g/kg) \\ + 0,436 \times HC(g/kg) + 0,262 \times CL(g/kg) - 0,086 \times ADL(g/kg)$$

Tabelle 37: Regressionskoeffizienten für Methan aus g/kg FM (EWA)

Substrat	$x_0$ (l/kg)		$\Delta$ -relativ (%)
	Frisch	Silage	
Gras	12	18	33,3
Grünland	16	16	0,0
Nawaro	7	10	30,0
Mais	-	20	-

Bei dieser Gleichung hatte der Wilks-Lambda-Wert von 0,07 mit einem F-Wert von 69,51 eine hohe Signifikanz ( $p < 0,001$ ). Somit wurde die Null-Hypothese abgelehnt (Anhang 10.4.4.4). Auch bei dieser Auswertung wurde nach der Mittelwertanalyse (LSMEAN) festgestellt dass eine Differenz zwischen den Substratsarten, nicht aber zwischen den Konservierungsformen in jeder Art besteht.

Nach der Vereinfachung durch die Nullpunktskorrektur ergibt sich die Gleichung 38. Nochmal auffallend sind die deutlich unterschiedlichen Koeffizienten der Rohprotein- (XP) und ADL-Fraktion, was wiederum auf die Nichtsignifikanz der unkorrigierten Regression zurückzuführen ist.

$$(38) \quad y(l/kg) = 0,147 \times XP(g/kg) + 0,560 \times XL(g/kg) + 0,289 \times OR(g/kg) \\ + 0,459 \times HC(g/kg) + 0,382 \times CL(g/kg) - 0,271 \times ADL(g/kg)$$

$$[R^2=0,978]$$

---

# 6 Schlussfolgerung

## 6.1 Wissenschaftliche Schlussfolgerungen

Das Weihenstephaner Batch System (WBS) eignet sich sehr gut um Methanertragspotenziale aus den verschiedenen „Nawaro“ ermitteln zu können, ohne dass eine mechanische oder chemische Vorbehandlung an den Substraten nötig ist. So könnte ein möglicher Einfluss dieser Vorbehandlungen auf die Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe ausgeschlossen werden. Mit dem WBS konnte festgestellt werden, dass die VDI-Richtlinie 4360 für Gärversuche es derzeit nicht zulässt, Batchversuche zu standardisieren, sondern dass damit nur verschiedene Versuchsanlagen methodisch zu beschreiben sind. Für die Zukunft ist es nötig, eine standardisierte Methode zu entwickeln, um die Gärversuche von verschiedenen Instituten vergleichen zu können. Hier sollte sich die Methode nicht nur auf die organische Trockenmasse der Mischung zwischen Impfmateriale und getesteten Substrat beziehen, sondern auch auf den pH-Wert, das C/N Verhältnis der Mischung und die Qualität des Impfmateriale sowie dessen Herkunft berücksichtigen.

Mit dem WBS war es möglich Schätzgleichungen für Biogas- und Methanertragspotenziale aus den Inhaltsstoffen verschiedener „Nawaro“ zu ermitteln. Diese Gleichungen basieren auf 1310 Vergärungen mit kompletter chemischer Input- und Outputanalyse. Um die erstellten Schätzgleichungen statistisch abzusichern, sollten diese Arbeiten fortgeführt werden um den derzeitigen Stichprobenumfang zu erweitern. Dabei sollten gezielt extreme Inputsubstrate erfasst werden (sehr hohe und sehr niedrige Zucker-, Fett-, Protein- und Ligningehalte) um die Variabilität besser abbilden zu können.

Da sich die Schätzgleichungen auf die Inhaltsstoffe der nachwachsenden Rohstoffe beziehen, sollte die Methode der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) dafür eingesetzt werden, um den Aufwand der chemischen Analysen zu reduzieren. Es wäre auch möglich mit der hohen Anzahl an Vergärungen NIRS-Kalibrationen zu generieren, um aus den Spektren direkt die Biogas- und Methanertragspotenziale ableiten zu können.

---

## 6.2 Praxisrelevante Schlussfolgerungen

Als praxisrelevante Ergebnisse sind die Schätzgleichungen, die sich auf kg Frischmasse basieren, zu betrachten. Diese Ergebnisse ermöglichen den Biogasanlagenbetreiber genauer den Biogas- und Methanertragspotenzial berechnen zu können, um somit die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der entsprechende Biogasanlage zu sichern.

Es ist nicht auszuschließen dass bei verschiedenen Futtermischungen, wie aus der Tierernährung (Rumenphysiologie) bereits bekannt, auch verschiedene Synergieeffekte auftreten können. Dafür wäre es wichtig, mit dem WBS die entsprechenden Versuche durchzuführen, um aus den Verhältnissen der Inhaltsstoffe in den Mischungen Schätzgleichungen zu ermitteln, die solche Synergieeffekte darstellen können. Parallel dazu sollten auch Durchflussversuche (mit kontinuierlicher Fütterung) durchgeführt werden, um maximale Raumbelastungen und Verweilzeiten feststellen zu können.

---

## 7 Zusammenfassung

Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat die Produktion und Nutzung von Biogas in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Energieproduktion in Form von Strom und Wärme bietet den Landwirten die Möglichkeit zu einem weiteren Einkommen.

Zu Fragen der Prozesskinetik, des Stoffverhaltens, der Substrateigenschaften, der Erträge und der ökonomischen Auswirkungen der nachwachsenden Rohstoffe bei Vergärung als Kosubstrat oder als alleinige Einsatzstoffe gibt es bisher weder umfassende wissenschaftliche Untersuchungen noch ausreichende Erfahrungswerte aus der Praxis.

Für Futterpflanzen existieren detaillierte Futterwerttabellen, um einen effektiven Einsatz in der Tierernährung zu erreichen. Für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen gibt es bis heute keine vergleichbaren Tabellenwerte, auf die der Anlagenbetreiber zurückgreifen könnte. Analogie zu den rumenphysiologischen Futterwerttabellen führt nur zu ungenauen Kalkulationen, weil trotz vieler Parallelen zwischen den Verdauungsvorgängen bei Wiederkäuern und den Abbauprozessen einer Biogasanlagen bestehen, die Verdaulichkeiten bei den Futterwerttests bei maximalen 144 Stunden liegen. Bei Biogasanlagen wird mit mindesten 30 Tage Verweilzeit gerechnet und deswegen muss man mit höheren Verdauungskoeffizienten der Inhaltsstoffe rechnen.

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung verschiedener Arten und Sorten von Nawaro, inklusive kompletter Input- und Outputanalyse auf ihr Biogas- und Methanertragspotenzial. Dabei sollte der Einfluss der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe auf die Verdaulichkeit dieser Substrate untersucht werden.

Für die Untersuchungen wurde eine Laborfermentieranlage aufgebaut („Weihenstephaner Batch System“ – WBS), mit welcher in drei Jahren 206 verschiedenen „Nawaro“ sowohl als frische Ware als auch als Silage chemisch analysiert und fermentiert wurden. Die so erhaltenen Daten aus 1310 Vergärungen wurden mit Hilfe entsprechender statistischer Methoden ausgewertet und diskutiert.

In den Futterwerttabellen der Tierernährung wird die Einteilung der Nährstoffe zur Qualitätsbestimmung Pflanzenteile nach der Weender Futtermittelanalyse und der Van Soest

---

Fraktion (erweiterte Weender-Analyse) durchgeführt. In dieser Arbeit wurden beide Methoden verwendet, um die Zusammensetzung der Faserstruktur besser differenzieren zu können.

Für die Auswertung wurden die Substratproben in mehrere Gruppen unterteilt (Mais, Grünland, Gräser und andere „Nawaro“). Dabei wurden einerseits „Nawaro“ gleicher Art zusammengefasst, andererseits aber nach Art der Konservierung unterschieden.

Die Ergebnisse der Methanerträge aus den Silagen der getesteten Maissorten zeigten einen Schwankungsbereich von 245 bis 431 Liter Methan je kg oTM. Es wurde festgestellt, dass mit steigendem Trockenmassegehalt der Maissorten, die Biogas- und Methanerträge sinken. Dies deutet darauf hin, dass mit zunehmendem TS-Gehalt eine Verholzung und damit Lignifizierung der Pflanze einhergeht. Da Lignin im Biogasprozess nicht abgebaut wird, verschlechtert sich infolge dessen auch der spezifische Gasertrag.

Die Grünlandvarianten der verschiedenen Standorte zeigen, dass die Mittelwerte der Erträge aus Frischmaterial von 200 bis zu 417 Liter Methan je kg oTM schwanken können. Die Proben aus Silagen zeigen einen Schwankungsbereich von 225 bis 423 Liter Methan je kg oTM. Die Ergebnisse bestätigen, dass durch die Bewirtschaftungsintensität und die Standortfaktoren deutliche Unterschiede in den Methanertragspotenzialen von Dauergrünland zu erwarten sind.

Die untersuchten Weidelgräser zeigen einen großen Schwankungsbereich bei der Weender-Analyse. Die verschiedenen Sorten der Weidelgräser führten zu Erträgen von 477 bis zu 846 Liter Biogas je kg oTM und von 198 bis zu 443 Liter Methan je kg oTM. Die verschiedenen Sorten der anderen Gräser produzieren Gaserträge von 443 bis zu 711 Liter Biogas je kg oTM und von 208 bis zu 381 Liter Methan je kg oTM. Die Erträge der verschiedenen Sorten der Leguminosen liegen zwischen 390 und 714 Liter Biogas je kg oTM bzw. 198 und 363 Liter Methan je kg oTM. Allgemein wurde bei den verschiedenen Gräsern festgestellt, dass mit steigenden Rohproteingehalt, der Methanertrag je kg oTM sinkt.

Auch die untersuchten Pflanzenarten der „Nawaro-Gruppe“ zeigten große Unterschiede bei der Weender-Analyse und der erweiterten Weender-Analyse. Die Werte der verschiedenen Arten und Sorten zeigen, dass die Gaserträge von 231 bis zu 816 Liter Biogas je kg oTM und von 122 bis zu 376 Liter Methan je kg oTM schwanken.

---

Dank der kompletten Input- und Outputanalyse war es möglich, aus der Differenz der Inhaltsstoffe eine Gleichung für den Biogasertrag aus den abgebauten Inhaltsstoffen im Vergleich mit dem Berechnungsmodell von BASERGA (1998) darzustellen:

$$(39) \quad y(ml) = 652 \times XP(g) + 1599 \times XL(g) + 1146 \times XF(g) + 724 \times XX(g)$$

In der selben Form war es auch möglich aus der erweiterte Weender-Analyse eine Gleichung für den Biogasertrag aus den abgebauten Inhaltsstoffen zu berechnen:

$$(40) \quad y(ml) = 454 \times XP(g) + 1442 \times XL(g) + 376 \times OR(g) + 523 \times HC(g) + 467 \times CL(g)$$

Da aus den Versuchen auch in der Praxis direkt einsetzbare Werte zu generieren waren, wurde die Auswertung auf Biogas- und Methanerträge in bezug auf g Inhaltsstoffe pro kg FM durchgeführt. Danach ergibt sich:

Für den Biogasertrag:

$$(41) \quad y(l/kg) = 0,307 \times XP(g/kg) + 0,781 \times XL(g/kg) + 0,627 \times OR(g/kg) \\ + 0,938 \times HC(g/kg) + 0,691 \times CL(g/kg) - 0,358 \times ADL(g/kg)$$

und für den Methanertrag:

$$(42) \quad y(l/kg) = 0,147 \times XP(g/kg) + 0,560 \times XL(g/kg) + 0,289 \times OR(g/kg) \\ + 0,459 \times HC(g/kg) + 0,382 \times CL(g/kg) - 0,271 \times ADL(g/kg)$$

Mit den Gleichungen 41 und 42 ist es nun erstmals möglich, unter Einbeziehung der erweiterten Weender-Analyse, die eine differenzierte Einbindung von Polysaccharinfraktionen zulässt, das Biogas- und Methanertragungspotenzial zu berechnen. Die Qualität der Berechnung ist als hoch zu bewerten, da die Bestimmtheitsmaß für die Gleichung 41  $R^2=0,88$  und für die Gleichung 42  $R^2=0,85$  betragen.

---

## 8 Summary

By the Renewable Energy Law (EEG) the production and use of biogas in Germany has clearly increased with great importance during the last years. Energy production in the form of electricity and heat offers the possibility for an other income to the farmers.

The insufficient knowledge about process kinetics, material behavior, substrate qualities, yields and economic consequences of energy crops, which are used as co-substrates in biogas plants, is still a challenge for scientists and plant operators.

For forage crops, detailed feed value tables exist to reach an efficient use and application in animal production. Till nowadays, for the use of energy crops in biogas plants there are no comparable table values on which the plant operator could fall back. The analogy usage of the value tables coming from rumen-physiology leads to inexact calculations because although parallels exist between the digestive processes of ruminants and the degradation process in biogas plants, digestibility studies in animal production are realized in tests of maximum 144 hours and in biogas studies in at least 30 days. Therefore, calculations in biogas plants should be estimated with higher digestive coefficients.

The aim of this study was the investigation of biogas and methane potential yields coming from different species and types of energy crops, including a complete input and output chemical analysis. Therefore, the influence of the different nutrient composition on the digestibility of energy crops digested in anaerobic conditions will be examined.

For the investigation a laboratory-scale digester system was developed to perform experiments ("Weihenstephaner-Batch-System" - WBS), through which 206 different energy crops, as fresh material and silage, were chemically analyzed and fermented in a period of three years. The resulting data from 1310 fermentations were evaluated and discussed with the help of suitable statistical methods.

Feed value tables of animal production are performed by the Weender feed analysis and the Van Soest fraction (enlarged Weender feed analysis) through which the nutrient composition

---

is determine. In this work both methods were used to differentiate better the fiber structure composition.

For result analysis the energy crops were divided in groups according to maize, meadowland, grass and other energy crops. Besides, another division was taken according to kind of conservation.

Methane yields results of tested maize silage showed a variation area of 245 to 431 l of methane / kg volatile solids (VS). Found out was that with rising dry matter content (DM) biogas and methane yields decreased. This points to the fact that with increasing DM a lignification occurs. As lignin is not degradable in anaerobic digestion, biogas and methane yields are downgraded.

Meadowlands coming from different locations showed a mean variation area of 200 up to 417 l of methane / kg VS for fresh material and of 225 up to 423 l of methane / kg VS for silage. These results confirm that clear differences in methane potential yield are to be expected according to cultivation intensity and location factors.

The examined ryegrass showed a big variation in Weender feed analysis. The different types led to yields of 477 up to 846 l of biogas / kg VS and from 198 up to 443 l of methane / kg VS. The different types of the other grasses tested produced yields of 443 up to 711 l of biogas / kg VS and from 208 up to 381 l of methane / kg VS. Yields obtained from different types of legumes lay between 390 up to 714 l of biogas / kg VS and from 198 up to 363 l of methane / kg VS. In general, in the different grasses tested, it was found out that at rising crude protein content methane yields per kg VS decrease.

In the group of other energy crops big differences in Weender feed analysis and in the enlarged Weender feed analysis were also found. The values of the different species and types showed yields of 231 up to 816 l of biogas / kg VS and from 122 up to 376 l of methane / kg VS.

Due to the complete chemical input and output analysis the degraded nutrients were obtained. Through this, it was possible to develop a mathematical equation for the biogas potential yield in analogy to the mathematical model of BASERGA (1998):

---

$$(39) \quad y(ml) = 652 \times XP(g) + 1599 \times XL(g) + 1146 \times XF(g) + 724 \times XX(g)$$

It was also possible to develop a mathematical equation for biogas potential yield based on the enlarged Weender feed analysis coming from the degraded nutrients:

$$(40) \quad y(ml) = 454 \times XP(g) + 1442 \times XL(g) + 376 \times OR(g) + 523 \times HC(g) + 467 \times CL(g)$$

In addition, a mathematical equation for biogas plant operators was generated which is based in the energy crops nutrients content (fresh matter base):

For biogas potential yield:

$$(41) \quad y(l/kg) = 0,307 \times XP(g/kg) + 0,781 \times XL(g/kg) + 0,627 \times OR(g/kg) \\ + 0,938 \times HC(g/kg) + 0,691 \times CL(g/kg) - 0,358 \times ADL(g/kg)$$

For methane potential yield:

$$(42) \quad y(l/kg) = 0,147 \times XP(g/kg) + 0,560 \times XL(g/kg) + 0,289 \times OR(g/kg) \\ + 0,459 \times HC(g/kg) + 0,382 \times CL(g/kg) - 0,271 \times ADL(g/kg)$$

For the first time, with the usage of the enlarged Weender feed analysis, who determine the composition of the polysaccharide fraction of a substrate, it is possible to calculate with the mathematical equations 41 and 42 the biogas and methane potential yields. The quality of the calculation is to be valued as high according to a coefficient of determination of  $R^2=0,88$  for the equation 41 and of  $R^2=0,85$  for the equation 42.

---

## 9 Literatur

- AMON, T., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, G. MOITZI, S. BUGA, D. FISTAROL, E. HACKL, D. JEREMIC, W. ZOLLITSCH & E. PÖTSCH (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Institut für Land-, Umwelt-, und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Wien, 76 S.
- AMON, T., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, V. BODIROZA, W. ZOLLITSCH, J. BOXBERGER & E. PÖTSCH (2005): Biogaserzeugung aus Grünlandbiomasse im Alpenraum. *Landtechnik* 6/2005, S. 336-337.
- AMON, T., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, V. BODIROZA, W. ZOLLITSCH, & J. BOXBERGER (2005): Biogaserzeugung aus Energiemais. *Landtechnik* 2/2006, S. 86-87.
- BARRIERE, Y., C. DEMARQUILLY, Y. HEBERT, J. DARDENNE, P. ANDRIEU, J.C. EMILIE, P. LILA & M. MAUPETIT (1991): Influences de la variabilite´genetique et environnementale sur la digestibilite´in vitro ou in vivo du mais fourrage. *Agronomie* 11, S. 151-167.
- BASERGA U. (2000): Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. FAT-Berichte Tänikon (Schweiz) Nr. 546.
- BASERGA, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512.
- BÖHM, M., F.J. SCHWARZ & M. KIRCHGEßNER (1983): Zum Futterwert von Maissilage mit unterschiedlicher Reife bei der Silierung. *Bayer Landw. Jb.* 60, S. 893-902.
- BÖHNKE, B., W. BISCHOFBERGER & C.F. SEYFRIED (1993). *Anaerobtechnik*: Berlin Springer Verlag.
- COLLAR, C., T. SCHULTZ, S. WRIGHT & L. WEAVER (1991): In situ rumen evaluation of silage corn hybrids. *J. Dairy Sci.* 74, (Suppl. 1): 185 S.
- CZEPUCK, K., H. OECHSNER, B. SCHUMACHER & A. LEMMER (2006): Biogasausbeuten im Labor im Vergleich zur rechnerischen Abschätzung. *Landtechnik* 2/2006, S. 82-83.
- CZERKAWSKI, J.W. & G. BRECKENRIDGE (1977): Design and development of a long-term rumen simulation technique (RUSITEC). *Br. J. Nutr.* 38, S. 371-384.
- DA COSTA GOMEZ, C. (1999): In vitro- Untersuchungen zur reduktiven Acetogenese im Pansen. Dissertation, Institut für Tierphysiologie und Tierernährung der Georg-August-Universität zu Göttingen, Göttingen.
- DACCORD, R. (1994): Bewertung von Silomais in der Milchviehfütterung und Rindermast. Bericht über die 21. Tierzuchttagung, Gumpenstein, BAL: S. 33-35.

- 
- DACCORD, R., Y. ARRIGO & R. VOGEL (1995): Nährwert von Maissilage. Nutritive value of maize silage. *Agrarforschung* 2, S. 397-400.
- DANIEL, P, M.-L. ROTERMUND, U. SIMON, M. WERMKE & E. ZIMMER (1981): Die in vitro-Verdaulichkeit als Qualitätsmerkmal bei der Sortenbeurteilung von Futtergräser. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 59, 82 S.
- DAVIES, D.R., M.K. THEODOROU, J. BAUGHAN, A.E. BROOKS & J.R. NEWBOLD (1995): An automated pressure evaluation system (APES) for determining the fermentation characteristics of ruminant feeds. *Annales de Zootechnie* 44 (Suppl. 1), 36 S.
- EDELMANN, W. (2004): Biogaserzeugung und Nutzung. In: *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Technik und Verfahren* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. Kaltschmitt & Hartmann (Hersg.), S. 641-692.
- FLACHOWSKY, G., P. BALDEWEG & G. SCHEIN (1992): A note on the in sacco dry matter degradability of variously processed maize grains and of different maize varieties in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 39, S. 173-181.
- GALLERT, C. & J. WINTER (1998): Mikrobiologie anaerober Gärprozesse, In: *Technik anaerober Prozesse, DACHEMA-Fachgespräche Umweltschutz, Beiträge einer Veranstaltung des Sonderforschungsbereiches 238 der DFG in Zusammenarbeit mit dem DACHEMA-Forschungsausschuß Biotechnologie vom 7.-9. Oktober 1998 an der Technischen Universität Hamburg-Harburg*, H. Märkl & R. Stegmann (Hrsg.), S. 19-34.
- GIVENS, D.I., E. OWEN, R.F.E. AXFORD & H.M. OMED (2000): Forage evaluation in ruminant nutrition. CAB International, Wallingford, UK, 475 S.
- GOERING, H.K. & P.J. VAN SOEST (1970): Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook No. 379*, ARS, USDA, Washington, D.C.
- GRAF, W. (2003): Erhöhte Einspeisetarife in Österreich – Neuer Trend zu Anlagengrößen und Einsatzsubstraten. *Biogas International Konferenz, Augsburg*, S. 79-83.
- GRUBER, W. (2005): *Biogasanlagen in der Landwirtschaft. aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V. Bonn*, 51 S.
- HEIERMANN, H., H. SCHELLE & M. PLÖCHL (2002): Biogas und Energielandwirtschaft – Potenzial, Nutzung, Grünes Gas, Ökologie und Ökonomie. In: *Bornimer Agrartechnische Berichte (Heft 32)*, Potsdam-Bornim, S. 15-22.
- HEIERMANN, M & M. PLÖCHL (2002): Pflanzliche Biomassen – ein großes Potenzial für die Biogasgewinnung. *Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Institut für Agrartechnik Bornim, Potsdam*, S. 4.
- HERTER, U., A. ARNOLD & F. SCHUBIGER (1996): Verdaulichkeit, das wichtigste Qualitätsmerkmal bei Silomais. *Agrarforschung* 3, S. 535-538.

- 
- HÖNER, K., U. MEYER, Y. HAILU, M. SPOLDERS & P. LEBZIEN (2001): Influence of the sample-technique of the rumen fluid on measured pH-values in cows. Proc. Soc. Physiol. S. 103-102.
- HSU, J. C. & NELSON, B. (1998): Multiple Comparisons in the General Linear Model. Journal of Computational and Graphical Statistics, 7, S. 23-41.
- HUNTER, R.B. (1979): Verfahren zur Selektion und Beurteilung von Mais für Ganzmaissilage. Übersicht Tierernährung 7, S. 51-72.
- ISHLER, V., J. HEINRICHS & G. VARGA (1996): From feed to milk: Understanding rumen function. Extension Circular No. 422, Penn State Cooperative Extension, Pennsylvania State University, Pennsylvania, USA.
- JÄGER, F. (2004): Mais als Energiepflanze für die Biogasproduktion. KWS Mais GmbH, Fachberatung Mais.
- JÄKEL, K. (2002): Grundlagen der Biogasproduktion. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dresden, 60 S.
- KAISER, D. (1992): Nährstoffverdaulichkeit und Wärmeproduktion beim Wiederkäuer unter Wärmebelastung und bei unterschiedlichem Nährstoffangebot. Dissertation, Institut für Tierproduktion der Technische Universität Berlin, Berlin, 118 S.
- KAISER F., V. ASCHMANN & A. GRONAUER (2003): Dry Fermentation of Agricultural Substrates. In: 9th International Symposium ASAE – Animal, Agricultural and Food Processing Wastes, 12-15 October 2003, North Caroline, USA, S. 325 – 332.
- KAISER F., M. DIEPOLDER, J. EDER, S. HARTMANN, H. PRESTELE, R. GERLACH, G. ZIEHFREUND & A. GRONAUER (2004): Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. In: Biogas in Bayern. Tagungsband zur Jahrestagung am 09.12.2004 in Rosenheim, S. 43 – 55.
- KAISER F., M. DIEPOLDER, J. EDER, S. HARTMANN, H. PRESTELE, R. GERLACH, G. ZIEHFREUND & A. GRONAUER (2004): Biogaserträge verschiedener nachwachsender Rohstoffe. Landtechnik 4/2004, S. 224 – 225.
- KAISER F., & A. GRONAUER (2004): Methanerträge verschiedener nachwachsender Rohstoffe. In: Biogas Journal H.2, S. 22 – 25.
- KAISER F., & A. GRONAUER (2005): Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe verschiedener nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen. In: 14. Symposium BIOENERGIE - Festbrennstoffe, Flüssigkraftstoffe, Biogas am 24./25. November 2005 in Kloster Banz, Bad Staffelstein, S. 290 – 295.
- KAISER F., & A. GRONAUER (2005): Methanertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. In: 12. C.A.R.M.E.N.-Forum „Strom und Wärme vom Acker“. Tagungsband zur Jahrestagung am 14. März 2005. Hrsg.: Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (CARMEN). Straubing, S. 39 – 53.

- 
- KAISER F., SCHLATTMANN, M. & A. GRONAUER (2005): Methanertragspotenzial verschiedener nachwachsender Rohstoffe in Laborfermentern und deren Übertragbarkeit auf die Praxis. In: 7. Tagung Bau, Technik, und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2005, 1.-3. März 2005 in Braunschweig. Eds: Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Düsseldorf; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt.
- KEYMER, U. & A. SCHILCHER (1999): Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising.
- KIRCHGEßNER, M. (2004): Tierernährung; Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 11. neu überarbeitete Auflage. DLG Verlag, Frankfurt am Main, 608 S.
- KLÜNTER, A.M. (1987): Weiterführende Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kraftfutter-Zuteilung an Milchkühe auf Leistung, Verdaulichkeit der organischen Substanzen und Blutparameter. Dissertation, Institut für Tierernährung, Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrichs-Wilhelms-Universität zu Bonn, Bonn, 159 S.
- KÖHLER, R., H. JEROCH, G. FLACHOWSKY, G. GEBHARDT, H. HILSCHER & W. KAPPEL (1990): Futtermittelkundliche Bewertung verschiedener Maisgenotypen. Arch. Anim. Nutr. 40, S. 267-274:
- KOTARSKI, S. F., R.D. WANISKA & K.K. THURN (1992): Starch hydrolysis by ruminal microflora. J. Nutr. 122, S. 178-190.
- KRIEG, A. & T. FISCHER (2002): Grasvergärung aus wissenschaftlicher Sicht. Krieg & Fischer Ingenieure GmbH, 6 S.
- LEMMER, A. & H. OECHSNER (2001): Kofermentation von Gras und Silomais. Landtechnik 3/2001, S. 412-413.
- LINKE, B. & G. R. VOLLMER (2002): Kofermentation: Gemeinsame Vergärung von Gülle und pflanzlichen Biomassen in kontinuierlichen Laborversuchen. In: Bornimer Agrartechnische Berichte (Heft 32), Potsdam-Bornim, S. 31-37.
- LINKE, B. & G. R. VOLLMER (2002b): Ergebnisse der Kovergärung von Energiepflanzen und organischen Reststoffe. In: Tagungsband 5. Dialog „Abfallwirtschaft M-V“, 11. September 2002, S. 85-95.
- LINKE, B., K. BAGANZ & R. SCHLAUDERER (1999): Nutzung von Feldfrüchten zur Biogasgewinnung. Agrartechnische Forschung 5 (1999) H.2, S. 82-90.
- LINKE, B. & P. MÄHNERT (2005): Einfluss der Raumbelastung auf die Gasausbeute von Gülle und nachwachsenden Rohstoffen in Tagungsband der 14. Jahrestagung des Fachverbands Biogas e.V., S. 33-43.
- LOOSE, K. (1999): Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Körnermaishybriden auf die Stärke- und Proteinumsetzung im Verdauungstrakt von Milchkühen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover.

- 
- MÄHNERT, P., M. HEIERMANN, M. PLÖCHL, H. SCHELLE & B. LINKE (2002): Verwertungsalternativen für Grünlandbestände – Futtergräser als Kosubstrat für die Biomethanisierung. *Landtechnik* 5/2002, S. 260-261.
- MATTHIAS, J (2002): Energiepflanzen steigern den Gasertrag. *Biogas; Strom aus Gülle und Biomasse. Fachbuch Topagrar, Münster*, S. 86-89.
- MAURITZ, S. (1992): Der Einfluß verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Minderung der Silierverluste von Futterrüben. Dissertation, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG), 125 S.
- MENKE, K.H. & H. STEINGASS (1987): Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. II. Regressionsgleichung. *Übers. Tierernährg.*:15, S. 59-94.
- MUKENGELE, M., M. BRULE & H. OECHSNER (2006): Einfluss der Substratmischung aus Energiepflanzen auf Abbaukinetik und Methanertrag. *Landtechnik* 1/2006, S. 26-27.
- MUKENGELE, M. & H. OECHSNER (2007): Einfluss der Silierung auf den spezifischen Methanertrag bei Mais. *Landtechnik* 1/2007, S. 20-21.
- NALLATHAMBI, V (1997): Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 13, S. 83-114.
- OECHSNER, H., A. LEMMER & C. NEUBERG (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. *Landtechnik* 3/2003, S. 146-147.
- OECHSNER, H., A. LEMMER & C. NEUBERG (2003b): Versuche zur Gärbiologie und Prozesstechnik bei der Vergärung von Energiepflanzen. *Biogas International Konferenz, Augsburg*, S. 49-54.
- OHLDE, G. (1991): Variabilität der In-vitro-Verdaulichkeit von Getreidestroh unter Berücksichtigung der Histologie morphologischer Einzelfractionen sowie der Auswirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf den Futterwert. Dissertation, Institut für Tierproduktion in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim, Stuttgart, 145 S.
- PESTA, G. & R. MEYER-PITTROFF (2004): Kofermentate: So vermeiden Sie Fütterungsfehler. *Biogas; Strom aus Gülle und Biomasse. Fachbuch Topagrar, Münster*, S. 78-83.
- POTTHAST, V. (1989): Erfahrungen mit dem HFT. *Kraftfutter*: 12, S. 478-481.
- POUECH, P., H. FRUTEAU & H. BEWA (1998): Agricultural Crops for Biogas Production on Anaerobic Digestion Plants. In *Biomass for Energy and Industry, C.A.R.E.N., Proceeding of the International Conference Würzburg, Germany, 8 – 11 June 1998*, S. 163-165.
- PRECHT, M. & R. KRAFT (1992): *Bio-Statistik*. Oldenbourg Verlag, München.

- 
- SCHATTAUER, A. & P. WEILAND (2004): Grundlagen der anaeroben Fermentation. Handreichung, Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, S. 24-35.
- SCHERER, P. (2002): Mikrobiologische Aspekte bei der Vergärung von Biomasse in Batch-Ansätze. Workshop "Vergärung organischer Stoffe" 2002 VDI. Düsseldorf.
- SCHLAGHECK, A. (2001): Untersuchungen zum Einfluß ausgewählter Faktoren auf die in vitro- Verdaulichkeit von Silomais und auf Parameter der Pansenphysiologie. Dissertation, Institut für Tierphysiologie und Tierernährung der Georg-August-Universität zu Göttingen, Göttingen, 151 S.
- SCHULZ, H., A. PERWANGER & H. MITTERLEITNER (1982): Einsatzmöglichkeiten verschiedener Energieträger in der Landwirtschaft. Endbericht des Landtechnischen Vereins in Bayern e.V. München.
- SCHWARZ, F. J. & T. ETTLE (2000): Erntezeitpunkt, Sorte und deren Einfluss auf Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und in situ- Abbaubarkeit der Stärke von Silomais. Landbauforschung Völkenrode 217, S. 102-115.
- SCHWARZ, F. J., E.J. PEX & M. KIRCHGEßNER (1996): Zum Einfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilagen bei Rind und Schaf. Das wirtschaftseigene Futter 42, S. 161-172.
- SEDLMEIER J. (2000): Futterrüben als Kraftwerk. In: <http://www.gruene-niedersachsen.de/ltf/themen/landwirt/biogas/bgatrueb.htm>
- SEDLMEIER, J. (2003): Biogener Abfall contra landwirtschaftliche Energiepflanzen- Wirtschaftlichkeit und Gasausbeuten. Biogas International Konferenz, Augsburg, S. 43-49.
- STEINGASS, H. & K.H. MENKE (1986): Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. I. Untersuchungen zur Methode. Übers. Tierernährg.:14, S. 251-270.
- TERNRUD, I. (1987): Degradation of Untreated and alkali-treated Straw Polysaccharides in Ruminants. The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 36 S.
- TILLEY, J.M.A. & R.A. TERRY (1963): A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Br. Grassld. Soc. 18, S. 104-111.
- TUKU, A. (1991): Evaluation of dry matter yield, chemical composition and in vitro dry matter digestibility of different forage crops as influenced by cutting age, site (altitude) and year. Dissertation, Faculty of International Agricultural Development of the Technical University of Berlin, Berlin, 209 S.
- VAN SOEST, P.J. & J.B. ROBERTSON (1985): Analysis of forage and fibrous food. A Laboratory Manual for Animal Science, 613, Cornell University, USA.
- VAN SOEST, P.J. & R.M. WINE (1967): Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell Wall Constituents. J. Assoc. Off Anal. Chem. 50, S. 50 – 55.

- 
- VAN SOEST, P.J. (1967b): Development of a Comprehensive System of Feed Analysis and its Application to Forages. *Journal of Animal Science* 26(1), S. 119-128.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON & B.A. LEWIS (1991): Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, S. 3583-3597.
- VDI (2004): Richtlinie zur Vergärung organischen Stoffen (VDI 4630). Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, xx S.
- WEILAND, P. (2001): Grundlagen der Methangärung – Biologie der Substrate. In *Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven*. Tagung Hannover, 19./20. Juni 2001, VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, VDI-Berichte Nr. 1620, S. 19-33.
- WEILAND, P. (2004): Biogas – eine neue Einkommensquelle für die Landwirtschaft. In: *Forschungsreport. Verbraucherschutz – Ernährung – Landwirtschaft*. Agrartechnik. (Heft 29), S. 16-19.
- WILLIAMS, B.A. (2000): Cumulative Gas-production Techniques for Forage Evaluation. In: *Forage evaluation in ruminant nutrition*. CAB International, Wallingford, UK, S. 189-213.
- ZAUNER E. & U. KÜNTZEL (1986): Methane production from ensiled plant material. *Biomass* 10, S. 207-223.

---

# 10 Anhang

## 10.1 Biogas- und Methanerträge aller Substrate

Tabelle 38: Biogas- und Methanerträge der beprobten Maissorten 2003

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
1	695,54	54,36	353,32	27,62	50,80
2	707,79	57,18	360,53	29,12	50,94
3	575,31	71,69	277,90	34,63	48,30
4	552,12	33,02	245,06	14,66	44,38
5	707,60	50,20	345,17	24,49	48,78
6	708,80	73,33	351,41	36,36	49,58
7	677,70	65,78	331,81	32,21	48,96
8	592,48	69,69	274,71	32,31	46,37
9	730,66	43,60	343,51	20,50	47,01
10	723,56	78,98	351,77	38,40	48,62
11	660,72	51,08	326,66	25,25	49,44
12	598,92	77,04	287,84	37,02	48,06
13	672,87	77,60	345,34	39,83	51,32
14	687,26	60,89	328,00	29,06	47,73
15	723,43	46,39	348,39	22,34	48,16
16	591,87	30,82	293,12	15,26	49,52
17	656,43	40,33	338,95	20,83	51,64
18	552,25	81,84	272,21	40,34	49,29
19	574,88	20,38	292,92	10,38	50,95
20	595,19	69,40	290,49	33,87	48,81
21	642,00	35,84	323,56	18,06	50,40
22	722,92	72,89	362,16	36,51	50,10
23	581,50	52,95	298,04	27,14	51,25
24	590,78	45,66	283,58	21,91	48,00
max	730,66		362,16		51,64
min	552,12		245,06		44,38
x	646,77		317,77		49,10
s	61,97		33,98		1,73
Vk	9,58		10,69		3,53

Tabelle 39: Biogas- und Methanerträge der beprobten Maissorten 2004

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
25	755,29	19,93	374,49	9,88	49,58
26	667,90	61,32	319,11	29,30	47,78
27	698,28	38,97	330,83	18,46	47,38
28	667,99	33,17	345,81	17,17	51,77
29	826,29	55,71	398,49	26,86	48,23
30	826,00	41,91	420,98	21,36	50,97
31	725,92	57,40	348,74	27,58	48,04
32	517,02	58,12	248,15	27,90	48,00
33	773,76	53,18	397,80	27,34	51,41
34	801,47	31,36	395,66	15,48	49,37
35	839,56	63,87	431,74	32,85	51,42
36	702,53	66,94	347,66	33,13	49,49
max	839,56		431,74		51,77
min	517,02		248,15		47,38
x	733,50		363,29		49,45
s	91,87		51,03		1,60
Vk	12,53		14,05		3,23

Tabelle 40: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Spitalhof / Kempton

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
1	627,26	50,96	338,06	27,47	53,89
2	739,53	41,19	380,25	21,18	51,42
3	622,28	48,51	313,98	24,48	50,46
4	653,89	112,95	358,43	61,91	54,81
5	802,84	75,37	423,77	39,78	52,78
6	692,91	94,71	337,63	46,15	48,73
7	701,22	64,48	366,72	33,72	52,30
8	735,46	142,78	376,51	73,10	51,19
9	699,73	41,68	357,92	21,32	51,15
10	689,61	85,90	369,47	46,02	53,58
11	617,81	126,81	307,67	63,15	49,80
12	708,04	98,47	276,90	38,51	39,11
13	724,15	107,47	392,63	58,27	54,22
14	707,36	32,25	372,05	16,96	52,60
15	615,94	81,33	266,82	35,23	43,32
16	547,59	41,52	248,85	18,87	45,45
17	480,03	47,16	201,40	19,79	41,96

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
18	541,73	63,21	293,46	34,24	54,17
19	485,06	90,48	200,44	37,39	41,32
20	610,40	14,77	290,79	7,04	47,64
21	425,03	19,00	163,75	7,32	38,53
22	555,22	16,90	285,77	8,70	51,47
23	563,52	24,40	266,42	11,54	47,28
max	802,84		423,77		54,81
min	425,03		163,75		38,53
x	632,46		312,60		49,01
s	95,99		67,69		5,05
Vk	15,18		21,65		10,30

Tabelle 41: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2004 Spitalhof / Kempten

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
24	638,88	55,02	326,21	28,09	51,06
25	627,72	30,48	316,38	15,36	50,40
26	668,40	63,49	342,28	32,51	51,21
27	590,51	28,96	297,11	14,57	50,32
max	668,40		342,28		51,21
min	590,51		297,11		50,32
x	631,38		320,50		50,75
s	32,20		18,89		0,45
Vk	5,10		5,90		0,89

Tabelle 42: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Kringell / Passau

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
28	742,04	111,42	416,94	62,61	56,19
29	727,40	65,72	330,87	29,90	45,49
30	512,46	39,56	233,24	18,00	45,51
31	801,35	150,99	365,73	68,91	45,64
32	497,96	132,98	243,38	65,00	48,88
33	405,99	47,71	203,84	23,95	50,21
34	567,94	76,14	258,34	34,64	45,49
35	517,54	47,59	219,00	20,14	42,32
36	543,49	54,92	277,57	28,05	51,07
37	419,84	26,43	187,67	11,82	44,70
38	565,62	69,15	257,28	31,45	45,49
39	559,35	35,74	267,59	17,10	47,84

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
max	801,35		416,94		56,19
min	405,99		187,67		42,32
x	571,75		271,79		47,40
s	124,10		67,82		3,71
Vk	21,70		24,95		7,83

Tabelle 43: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2004 Kringell / Passau

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
40	667,61	64,17	340,43	32,72	50,99
41	651,58	33,94	328,65	17,12	50,44
42	633,34	21,12	341,52	11,39	53,92
max	667,61		341,52		53,92
min	633,34		328,65		50,44
x	650,84		336,87		51,78
s	17,15		7,14		1,87
Vk	2,63		2,12		3,61

Tabelle 44: Biogas- und Methanerträge der beprobten Varianten 2003 Exlarn / Steinach

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
43	385,59	13,85	191,11	6,86	49,56
44	434,59	11,19	212,39	5,47	48,87
45	470,66	29,70	197,66	12,47	42,00
46	634,96	79,56	303,93	38,08	47,87
47	493,66	47,14	230,28	21,99	46,65
max	634,96		303,93		49,56
min	385,59		191,11		42,00
x	483,89		227,07		46,99
s	93,79		45,53		3,00
Vk	19,38		20,05		6,38

Tabelle 45: Biogas- und Methanerträge der beprobten Gräser 2003

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
1	573,50	52,22	297,76	27,11	51,92
2	524,32	62,48	252,10	30,04	48,08
3	465,78	70,69	234,26	35,55	50,30
4	634,62	65,46	308,06	31,77	48,54
5	537,17	51,32	278,61	26,62	51,87
6	382,72	31,93	203,07	16,94	53,06
7	458,90	55,06	255,25	30,63	55,62
max	634,62		308,06		55,62
min	382,72		203,07		48,08
x	511,00		261,30		51,34
s	82,93		36,65		2,63
Vk	16,23		14,03		5,12

Tabelle 46: Biogas- und Methanerträge der beprobten Weidelgräser 2004

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
8	485,40	25,36	215,07	11,23	44,31
9	730,52	40,78	397,56	22,20	54,42
10	476,76	47,78	198,08	19,85	41,55
11	653,06	46,32	318,54	22,60	48,78
12	703,04	48,84	362,24	25,16	51,52
13	558,87	50,59	263,64	23,87	47,17
14	536,24	34,44	256,48	16,47	47,83
15	615,63	58,93	288,24	27,59	46,82
16	692,37	29,08	346,34	14,54	50,02
17	588,86	32,90	292,97	16,37	49,75
18	557,25	63,84	294,12	33,70	52,78
19	728,58	49,76	371,39	25,37	50,97
20	597,65	36,92	303,30	18,74	50,75
21	643,43	57,52	325,73	29,12	50,62
22	679,98	54,25	332,46	26,52	48,89
23	598,16	54,30	287,62	26,11	48,08
24	651,85	27,24	332,77	13,91	51,05
25	846,50	148,95	443,04	77,96	52,34
26	652,23	46,37	316,44	22,50	48,52
27	689,93	23,47	356,10	12,11	51,61
28	625,84	14,24	341,48	7,77	54,56
29	613,85	46,72	299,88	22,82	48,85

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
30	624,40	43,85	302,35	21,23	48,42
31	643,36	69,70	308,24	33,39	47,91
32	678,29	67,96	350,05	35,08	51,61
33	698,59	125,27	367,45	65,89	52,60
34	639,78	59,74	338,15	31,58	52,85
35	540,98	106,71	255,28	50,35	47,19
36	731,56	136,52	389,81	72,75	53,29
37	593,13	58,26	296,95	29,17	50,07
max	846,50		443,04		54,56
min	476,76		198,08		41,55
x	635,87		318,39		49,84
s	78,21		52,22		2,88
Vk	12,30		16,40		5,78

Tabelle 47: Biogas- und Methanerträge der beprobten Gräser 2004

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
38	570,12	83,61	282,70	41,46	49,59
39	620,38	65,25	312,44	32,86	50,36
40	635,93	29,99	312,58	14,74	49,15
41	601,21	38,05	278,55	17,63	46,33
42	624,96	51,72	335,28	27,75	53,65
43	659,26	80,82	352,90	43,26	53,53
44	593,83	33,34	310,52	17,44	52,29
45	711,86	33,41	374,21	17,56	52,57
46	675,26	40,08	346,03	20,54	51,24
47	597,91	34,13	303,63	17,33	50,78
48	657,42	63,06	316,07	30,32	48,08
49	701,82	83,01	381,59	45,13	54,37
50	482,99	30,92	256,68	16,43	53,14
51	595,66	31,32	297,86	15,66	50,00
52	464,60	24,08	238,23	12,35	51,28
53	657,66	18,91	325,55	9,36	49,50
54	443,39	66,14	208,76	31,14	47,08
55	494,46	61,63	269,90	33,64	54,59
56	591,34	45,60	269,81	20,80	45,63
57	475,93	69,67	242,23	35,46	50,90
58	643,09	14,74	321,07	7,36	49,93
59	676,68	29,73	335,16	14,73	49,53
60	594,15	61,90	318,11	33,14	53,54

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
61	680,83	64,56	319,51	30,30	46,93
62	599,68	79,46	316,62	41,95	52,80
63	593,20	46,65	317,19	24,94	53,47
64	538,58	47,81	243,61	21,62	45,23
65	583,46	29,95	315,11	16,17	54,01
66	600,24	45,79	276,55	21,10	46,07
67	625,11	58,80	293,97	27,65	47,03
max	711,86		381,59		54,59
min	443,39		208,76		45,23
x	599,70		302,41		50,42
s	70,50		40,00		2,87
Vk	11,76		13,23		5,68

Tabelle 48: Biogas- und Methanerträge der beprobten Leguminosen 2004

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
68	516,14	79,95	261,23	40,47	50,61
69	390,31	39,98	220,65	22,60	56,53
70	581,53	132,79	329,17	75,17	56,60
71	608,88	77,92	278,67	35,66	45,77
72	455,00	9,40	241,66	4,99	53,11
73	430,09	30,91	206,21	14,82	47,95
74	419,69	47,16	226,32	25,43	53,93
75	477,26	34,21	237,31	17,01	49,72
76	544,58	47,77	275,74	24,19	50,63
77	444,34	44,92	218,65	22,11	49,21
78	562,86	73,59	282,49	36,93	50,19
79	424,56	45,53	216,95	23,27	51,10
80	556,94	63,46	278,09	31,69	49,93
81	406,37	40,22	200,10	19,81	49,24
82	514,98	39,24	245,03	18,67	47,58
83	592,76	31,35	345,78	18,29	58,33
84	402,94	67,22	199,37	33,26	49,48
85	494,81	33,76	243,18	16,59	49,15
86	478,95	79,57	258,64	42,97	54,00
87	699,75	63,79	363,25	33,12	51,91
88	714,22	80,95	358,88	40,67	50,25
89	565,18	31,78	268,90	15,12	47,58
90	559,53	39,10	304,43	21,28	54,41
91	461,67	68,32	209,71	31,03	45,42

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
92	416,24	34,90	198,89	16,68	47,78
93	610,49	34,62	279,08	15,83	45,71
94	501,61	47,94	267,65	25,58	53,36
95	633,87	32,09	327,44	16,58	51,66
max	714,22		363,25		58,33
min	390,31		198,89		45,42
x	516,63		262,27		50,76
s	89,15		49,03		3,34
Vk	17,26		18,70		6,57

Tabelle 49: Biogas- und Methanerträge der beprobten Nawaro 2003

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
1	387,42	31,98	204,50	16,88	52,78
2	488,28	45,56	223,29	20,83	45,73
3	816,43	87,06	354,64	37,81	43,44
4	719,19	81,64	376,11	42,70	52,30
5	441,36	39,05	216,15	19,13	48,97
6	675,30	73,91	343,64	37,61	50,89
7	618,90	46,74	296,20	22,37	47,86
8	623,44	35,01	298,12	16,74	47,82
9	592,83	74,34	279,41	35,04	47,13
10	231,57	65,33	122,87	34,66	53,06
11	321,11	33,38	162,59	16,90	50,63
12	19,16	11,90	0,00	0,00	0,00
13	576,30	52,27	293,26	26,60	50,89
max	816,43		376,11		53,06
min	19,16		0,00		0,00
x	500,87		243,91		45,50
s	218,75		105,10		13,97
Vk	43,67		43,09		30,70

Tabelle 50: Biogas- und Methanerträge der beprobten Nawaro 2004

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
14	487,37	78,64	276,58	44,63	56,75
15	691,07	60,20	299,50	26,09	43,34
16	723,20	55,15	354,97	27,07	49,08
17	569,73	52,99	267,95	24,92	47,03
18	564,96	38,49	291,62	19,87	51,62

Nr.	Biogas ( L/kg oTM )	stabw (L/kg oTM)	Methan (L/kg oTM)	stabw (L/kg oTM)	Methan ( % )
19	663,94	52,29	328,14	25,84	49,42
20	662,77	76,57	335,96	38,81	50,69
21	547,67	66,25	262,40	31,74	47,91
22	513,17	46,31	252,50	22,79	49,20
23	551,75	12,24	278,88	6,19	50,54
24	536,85	61,37	269,59	30,82	50,22
25	636,79	29,28	317,63	14,61	49,88
26	339,75	37,70	141,33	15,68	41,60
27	333,46	40,61	180,55	21,99	54,14
max	723,20		354,97		56,75
min	333,46		141,33		41,60
x	558,75		275,54		49,39
s	117,42		57,63		3,83
Vk	21,01		20,91		7,76

## 10.2 Charakterisierung aller Substrate

Tabelle 51: Charakterisierung der beprobten Maissorten 2003

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
1	39,73	95,78	8,20	17,00	2,90	42,46	19,84	0,80
2	41,19	96,30	8,50	14,60	3,20	34,45	18,22	1,20
3	43,10	95,55	8,70	16,80	2,74	39,17	19,94	4,60
4	47,47	96,71	8,86	20,20	2,21	39,00	17,48	3,10
5	30,37	95,83	8,60	18,00	2,80	41,52	21,16	0,90
6	33,96	95,64	8,40	16,60	2,60	44,16	20,70	2,30
7	38,50	95,16	8,52	17,20	2,79	37,82	17,97	4,10
8	44,00	96,02	8,32	14,40	2,15	38,22	19,10	2,60
9	25,71	94,66	7,60	22,60	2,40	47,32	27,19	0,90
10	27,67	93,27	7,10	19,60	2,70	46,70	23,53	1,10
11	34,03	95,35	7,35	15,60	2,65	46,02	19,00	3,10
12	35,45	95,74	7,15	18,00	1,38	41,32	21,30	4,00
13	22,33	94,93	9,10	26,00	2,20	54,99	31,29	0,40
14	25,07	94,66	8,20	24,00	2,60	51,46	29,48	0,70
15	29,37	93,43	7,46	19,00	1,61	51,00	24,60	3,10
16	30,83	95,17	7,52	19,40	1,43	50,50	24,40	3,60
17	34,90	96,22	7,90	18,40	3,00	43,27	22,45	1,00
18	37,13	95,82	8,10	17,40	2,60	42,74	20,93	1,90
19	39,77	95,34	8,55	16,60	2,75	42,03	20,88	2,40
20	42,57	96,41	8,07	17,40	2,93	42,49	20,90	2,20
21	28,71	95,97	8,30	20,80	2,70	44,86	23,93	1,60

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
22	32,19	96,30	8,10	18,60	2,90	44,87	21,98	1,60
23	35,36	96,16	8,33	16,00	2,87	40,35	19,80	2,00
24	39,16	96,01	8,09	15,20	3,01	40,59	18,64	2,30
max	47,47	96,71	9,10	26,00	3,20	54,99	31,29	4,60
min	22,33	93,27	7,10	14,40	1,38	34,45	17,48	0,40
x	34,94	95,52	8,13	18,31	2,55	43,64	21,86	2,15
s	6,58	0,86	0,53	2,85	0,49	4,88	3,54	1,19
Vk	18,84	0,90	6,52	15,59	19,23	11,19	16,17	55,38

Tabelle 52: Charakterisierung der beprobten Maissorten 2004

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
25	27,57	95,34	7,49	20,40	1,20	51,90	25,30	0,96
26	34,90	97,15	7,55	17,20	1,90	50,50	20,00	2,57
27	39,29	95,88	7,10	15,90	1,41	37,80	19,70	4,09
28	37,39	94,55	8,10	24,50	0,80	53,60	29,70	5,09
29	24,41	94,51	8,20	22,60	0,93	51,80	33,20	1,02
30	30,23	96,53	7,10	20,00	1,28	49,90	24,00	2,37
31	31,38	96,31	7,70	18,50	0,93	52,20	23,10	2,03
32	32,26	96,40	7,30	18,80	1,44	51,30	22,40	2,60
33	19,82	95,32	7,89	30,60	0,30	62,40	34,90	1,83
34	23,26	96,00	7,16	27,00	0,50	58,50	29,90	2,39
35	24,96	96,22	7,20	25,10	0,26	59,00	31,30	2,22
36	23,14	96,13	7,50	18,50	1,10	44,40	21,50	2,73

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
max	39,29	97,15	8,20	30,60	1,90	62,40	34,90	5,09
min	19,82	94,51	7,10	15,90	0,26	37,80	19,70	0,96
x	29,05	95,86	7,52	21,59	1,00	51,94	26,25	2,49
s	6,18	0,79	0,38	4,42	0,49	6,53	5,30	1,15
Vk	21,27	0,83	5,07	20,46	48,76	12,57	20,19	46,30

Tabelle 53: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Spitalhof / Kempten

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
1	20,20	89,23	18,00	18,00	2,00	49,70	24,00	3,50
2	16,94	90,36	19,19	22,00	2,84	50,86	29,92	4,81
3	17,12	88,94	15,64	22,20	2,69	55,78	74,98	1,59
4	19,69	89,20	16,06	18,80	2,00	49,00	24,30	3,70
5	16,17	90,54	17,44	20,00	-	46,41	30,80	5,58
6	17,76	91,39	15,25	22,20	-	55,40	28,30	7,80
7	17,84	90,79	13,94	30,80	2,07	64,47	41,12	-
8	17,03	90,95	12,94	21,40	-	53,40	29,30	4,40
9	17,99	93,71	13,13	30,00	2,36	62,15	41,67	5,48
10	18,81	89,55	17,81	19,00	1,94	51,02	29,53	7,13
11	17,80	88,36	16,19	22,00	3,10	46,59	32,40	7,10
12	19,33	89,74	18,50	15,60	1,03	50,81	35,80	11,83
13	17,50	91,24	12,50	20,00	2,00	54,40	30,80	4,70
14	17,09	90,79	14,25	28,20	2,50	59,61	41,91	6,04
15	16,75	92,80	14,44	22,00	-	51,70	28,20	3,90

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
16	17,93	92,47	12,56	29,80	1,59	65,21	42,59	7,07
17	18,10	89,73	17,75	22,60	3,60	45,05	34,50	5,70
18	15,89	91,01	21,63	18,40	-	43,64	29,75	6,36
19	18,05	92,78	14,63	19,00	-	46,80	27,40	5,50
20	18,44	92,74	16,13	23,60	2,12	52,45	38,49	10,20
21	20,16	90,86	19,50	16,80	2,90	43,67	30,20	7,30
22	25,33	93,30	10,59	24,00	1,88	59,34	33,57	6,30
23	24,34	91,94	16,19	24,20	3,42	58,36	36,81	7,57
max	25,33	93,71	21,63	30,80	3,60	65,21	74,98	11,83
min	15,89	88,36	10,59	15,60	1,03	43,64	24,00	1,59
x	18,53	90,97	15,84	22,20	2,36	52,86	34,62	6,07
s	2,29	1,49	2,66	4,18	0,67	6,38	10,37	2,23
Vk	12,38	1,64	16,79	18,85	28,40	12,07	29,95	36,77

Tabelle 54: Charakterisierung der beprobten Varianten 2004 Spitalhof / Kempten

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
24	16,54	91,39	18,90	23,80	4,92	44,91	27,31	0,50
25	18,88	89,88	18,30	23,00	3,10	53,86	29,00	7,90
26	16,63	88,70	17,63	26,40	3,71	50,20	33,83	2,70
27	27,08	89,09	17,15	28,00	4,12	54,20	33,79	2,00
max	27,08	91,39	18,90	28,00	4,92	54,20	33,83	7,90
min	16,54	88,70	17,15	23,00	3,10	44,91	27,31	0,50
x	19,78	89,77	18,00	25,30	3,96	50,79	30,98	3,28
s	4,98	1,19	0,77	2,31	0,76	4,32	3,34	3,22
Vk	25,19	1,32	4,26	9,14	19,27	8,50	10,77	98,23

Tabelle 55: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Kringell / Passau

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
28	19,83	90,91	14,75	18,80	2,02	48,50	24,50	3,20
29	16,22	89,22	13,50	27,00	3,68	59,16	34,00	4,10
30	22,03	88,31	15,25	22,20	3,90	47,15	29,20	4,40
31	16,85	90,30	15,13	20,00	2,02	50,00	26,90	4,20
32	17,95	89,94	14,75	25,40	-	51,46	35,93	5,24
33	22,98	89,71	13,88	21,60	4,00	45,38	29,80	5,80
34	21,93	90,78	21,44	12,80	2,08	42,98	24,30	5,23
35	83,90	94,20	8,00	29,80	1,20	66,00	38,60	8,30
36	34,06	92,07	15,81	23,40	3,62	58,41	32,20	7,23
37	82,60	92,04	15,44	21,60	3,40	55,25	30,70	8,40

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
38	22,69	90,69	19,69	19,20	3,14	54,55	27,83	4,21
39	82,08	91,96	19,75	16,20	3,10	50,00	26,10	7,00
max	83,90	94,20	21,44	29,80	4,00	66,00	38,60	8,40
min	16,22	88,31	8,00	12,80	1,20	42,98	24,30	3,20
x	36,93	90,84	15,62	21,50	2,92	52,40	30,01	5,61
s	28,07	1,56	3,50	4,64	0,94	6,56	4,51	1,74
Vk	76,02	1,72	22,44	21,59	32,07	12,51	15,02	31,06

Tabelle 56: Charakterisierung der beprobten Varianten 2004 Kringell / Passau

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
40	16,74	91,24	16,06	27,60	3,86	50,69	35,80	7,00
41	25,83	89,29	12,09	28,70	2,50	53,50	35,70	6,35
42	24,83	85,90	16,10	22,80	2,90	50,00	34,10	7,38
max	25,83	91,24	16,10	28,70	3,86	53,50	35,80	7,38
min	16,74	85,90	12,09	22,80	2,50	50,00	34,10	6,35
x	22,47	88,81	14,75	26,37	3,09	51,40	35,20	6,91
s	4,98	2,70	2,30	3,14	0,70	1,85	0,95	0,52
Vk	22,19	3,04	15,62	11,90	22,64	3,61	2,71	7,54

Tabelle 57: Charakterisierung der beprobten Varianten 2003 Exlarn / Steinach

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
43	88,69	93,67	9,94	27,80	1,67	61,73	38,14	7,07
44	46,05	91,83	14,00	21,20	3,00	57,50	34,79	8,77
45	83,76	91,40	13,06	20,60	3,90	52,87	31,60	8,80
46	22,16	90,68	25,75	18,60	2,58	54,70	31,88	6,93
47	82,44	91,64	23,38	16,80	3,70	51,37	26,50	7,50
max	88,69	93,67	25,75	27,80	3,90	61,73	38,14	8,80
min	22,16	90,68	9,94	16,80	1,67	51,37	26,50	6,93
x	64,62	91,84	17,23	21,00	2,97	55,63	32,58	7,81
s	29,20	1,11	6,92	4,18	0,90	4,10	4,31	0,91
Vk	45,19	1,21	40,15	19,90	30,31	7,37	13,22	11,66

Tabelle 58: Charakterisierung der beprobten Gräser 2003

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
1	25,83	93,20	14,54	26,80	2,31	59,33	34,03	5,92
2	23,85	92,63	12,63	28,00	2,20	58,33	36,10	6,60
3	29,27	93,33	13,50	26,80	2,00	55,77	34,20	7,20
4	18,97	89,28	24,66	13,60	2,75	41,94	24,43	4,82
5	23,72	92,75	20,81	18,20	3,90	35,57	27,10	9,70
6	22,53	88,38	19,50	23,60	3,60	34,36	28,90	5,00
7	21,68	88,15	20,38	23,20	3,50	34,11	28,50	5,10
max	29,27	93,33	24,66	28,00	3,90	59,33	36,10	9,70
min	18,97	88,15	12,63	13,60	2,00	34,11	24,43	4,82

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
x	23,69	91,10	18,00	22,89	2,89	45,63	30,47	6,33
s	3,25	2,38	4,49	5,25	0,77	11,74	4,33	1,73
Vk	13,72	2,61	24,97	22,95	26,47	25,72	14,21	27,28

Tabelle 59: Charakterisierung der beprobten Weidelgräser 2004

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
8	13,37	88,47	30,98	18,20	2,44	47,01	23,05	5,60
9	17,31	86,57	20,20	27,60	3,20	48,00	31,50	5,67
10	10,69	87,70	31,03	19,20	4,31	51,89	25,58	5,50
11	21,49	89,70	18,40	20,80	3,90	52,20	24,93	6,60
12	20,43	88,48	17,33	27,60	3,20	47,30	33,40	3,29
13	22,63	90,17	20,80	22,00	3,70	54,90	25,05	5,20
14	25,18	86,59	19,00	24,20	3,60	49,20	34,80	5,83
15	20,55	90,44	18,30	23,80	3,80	55,22	27,68	6,70
16	19,84	89,34	17,10	26,60	3,00	45,80	32,10	3,34
17	21,97	89,42	22,20	22,60	3,60	55,71	26,50	5,40
18	24,27	88,44	19,80	23,70	4,50	46,80	27,50	6,93
19	24,34	91,80	10,60	29,60	2,43	53,60	33,40	3,70
20	34,66	89,95	17,14	25,20	3,91	48,85	30,74	4,10
21	26,48	89,60	20,60	21,80	3,90	42,40	29,40	9,08
22	17,31	90,94	24,40	15,80	2,98	40,99	22,30	10,50
23	23,97	91,23	19,90	21,00	2,90	38,46	23,89	0,70
24	18,07	91,16	11,60	25,60	2,40	54,27	31,90	5,60

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
25	18,51	89,76	10,25	33,20	1,56	59,58	36,23	3,60
26	18,70	90,97	13,70	26,00	2,93	52,00	29,90	5,20
27	21,89	90,60	14,33	29,00	2,20	53,00	33,80	5,79
28	35,58	90,19	16,20	26,20	3,10	52,70	36,40	5,32
29	20,25	90,22	19,13	23,80	3,32	45,71	27,47	1,80
30	19,15	91,82	17,30	17,00	3,29	42,86	23,30	6,30
31	24,41	90,89	18,30	21,60	2,70	43,10	24,33	0,60
32	16,39	90,20	12,80	28,20	2,60	56,66	34,30	6,30
33	20,20	89,29	12,54	33,00	1,45	59,08	38,35	3,70
34	27,57	89,49	17,00	28,30	2,17	55,30	36,00	8,03
35	21,31	90,04	18,73	19,40	3,48	44,32	23,29	1,00
36	17,04	89,01	12,56	32,80	1,50	59,68	39,17	4,30
37	29,38	88,88	18,00	24,60	2,22	51,90	36,10	6,62
max	35,58	91,82	31,03	33,20	4,50	59,68	39,17	10,50
min	10,69	86,57	10,25	15,80	1,45	38,46	22,30	0,60
x	21,76	89,71	18,01	24,61	3,01	50,28	30,08	5,08
s	5,40	1,31	4,94	4,55	0,80	5,74	5,13	2,28
Vk	24,80	1,47	27,42	18,48	26,68	11,42	17,06	44,88

Tabelle 60: Charakterisierung der beprobten Gräser 2004

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
38	14,65	92,27	15,90	29,40	3,43	62,28	33,90	8,70
39	16,88	91,14	13,80	31,60	3,81	60,10	35,11	4,90
40	20,56	91,77	11,20	28,20	2,50	58,10	32,10	6,30
41	23,89	91,71	10,35	31,20	1,35	60,31	34,93	3,40
42	25,28	89,07	14,00	24,60	1,65	54,10	34,90	6,59
43	18,64	90,12	13,34	34,40	3,16	62,41	38,39	4,80
44	24,29	88,51	15,43	31,40	2,50	59,40	37,10	6,08
45	18,74	91,06	15,00	26,80	2,80	61,60	31,10	7,30
46	26,63	94,45	9,99	33,20	1,60	66,92	42,51	5,30
47	18,95	89,17	22,00	25,50	3,80	48,90	32,90	5,36
48	20,81	92,67	15,00	23,80	3,24	55,82	28,30	7,10
49	18,72	89,73	16,00	28,80	4,02	57,14	32,06	3,10
50	24,39	93,06	21,57	27,00	2,61	51,80	35,43	2,30
51	19,38	92,62	27,00	21,40	4,10	58,30	28,13	6,90
52	23,03	91,49	25,05	23,80	3,10	48,60	28,50	2,11
53	21,88	93,77	24,50	23,80	3,62	60,60	30,78	5,00
54	23,87	93,13	21,52	27,20	2,60	53,80	32,00	3,02
55	24,88	92,97	20,37	26,20	2,66	53,86	32,44	2,70
56	22,34	93,70	25,10	23,40	4,28	61,40	27,47	6,10
57	23,04	92,75	22,34	24,50	2,50	44,60	29,80	3,49
58	22,06	93,23	14,30	26,20	2,80	59,30	31,20	7,00
59	23,87	92,89	14,33	29,20	2,30	57,92	34,36	4,10
60	24,52	91,14	18,20	25,30	3,80	51,00	28,60	7,19

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
61	28,86	90,91	16,10	25,40	3,20	58,32	29,14	6,80
62	26,80	89,73	15,80	30,40	2,50	54,00	33,50	2,89
63	23,59	91,11	17,70	26,60	4,30	50,30	29,40	5,70
64	16,99	90,42	16,30	23,00	2,45	42,07	29,78	6,70
65	17,36	89,11	13,65	29,30	2,80	41,80	35,80	5,26
66	23,59	85,53	12,60	13,00	3,70	35,79	32,81	8,00
67	20,24	84,62	13,00	16,80	2,80	30,10	25,20	5,50
max	28,86	94,45	27,00	34,40	4,30	66,92	42,51	8,70
min	14,65	84,62	9,99	13,00	1,35	30,10	25,20	2,11
x	21,96	91,13	17,05	26,38	3,00	54,02	32,25	5,32
s	3,36	2,28	4,66	4,49	0,78	8,40	3,66	1,80
Vk	15,32	2,50	27,36	17,02	25,97	15,54	11,34	33,83

Tabelle 61: Charakterisierung der beprobten Leguminosen 2004

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
68	16,77	89,99	23,80	21,40	3,23	36,93	28,00	9,30
69	19,41	89,27	21,93	27,80	2,84	31,35	33,04	2,60
70	27,69	88,22	29,33	19,40	3,05	29,08	21,99	2,50
71	18,47	90,10	21,30	24,20	2,75	42,88	30,00	7,50
72	20,81	89,57	22,27	26,60	3,20	37,80	31,70	5,16
73	23,32	90,82	24,80	24,80	2,91	41,67	29,39	7,00
74	27,58	89,55	22,00	27,60	2,83	39,20	32,70	5,14
75	17,02	90,68	25,20	20,00	3,23	34,93	26,90	9,00
76	20,54	90,21	22,90	26,00	3,00	34,06	30,84	2,50
77	25,80	89,54	21,90	27,30	2,90	39,00	32,30	4,71
78	14,61	90,57	20,20	16,20	3,56	40,20	21,10	7,00
79	19,66	92,01	28,20	25,60	3,34	42,18	32,52	6,30
80	14,56	89,73	20,10	21,00	2,72	45,78	28,20	10,00
81	19,92	88,47	19,73	26,60	1,80	44,70	33,60	7,40
82	15,76	90,88	23,70	20,00	2,75	49,40	27,40	10,10
83	19,72	89,96	19,80	26,20	2,50	46,80	34,70	11,81
84	17,46	83,15	24,95	14,00	3,14	48,18	26,55	10,50
85	27,13	89,17	20,39	24,50	2,10	41,90	33,70	7,99
86	17,85	89,90	26,52	14,80	3,54	45,13	21,62	9,80
87	11,82	88,46	25,50	13,80	2,90	26,68	23,90	8,00
88	16,06	88,84	23,60	21,40	4,23	30,10	33,01	2,30
89	12,25	88,22	29,40	14,20	3,50	29,39	26,37	9,00
90	17,24	88,88	27,09	22,80	4,17	29,53	33,00	3,20

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
91	47,34	88,23	29,30	18,20	1,70	35,50	28,10	6,32
92	23,22	89,73	25,30	20,40	3,30	31,30	29,20	4,37
93	11,24	88,92	28,90	14,00	3,80	29,24	23,17	8,80
94	16,36	88,69	26,95	20,30	3,70	30,20	28,50	3,74
95	23,01	88,97	23,90	20,00	3,01	30,60	25,40	4,31
max	47,34	92,01	29,40	27,80	4,23	49,40	34,70	11,81
min	11,24	83,15	19,73	13,80	1,70	26,68	21,10	2,30
x	20,09	89,31	24,25	21,40	3,06	37,28	28,82	6,66
s	7,02	1,52	3,10	4,61	0,60	6,83	4,01	2,80
Vk	34,93	1,71	12,80	21,54	19,50	18,32	13,91	42,07

Tabelle 62: Charakterisierung der beprobten Nawaro 2003

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
1	31,27	94,23	5,75	36,80	1,11	79,58	-	-
2	30,23	94,36	4,30	44,00	0,80	77,29	50,40	8,40
3	22,13	97,66	6,63	6,20	0,15	20,90	-	-
4	18,05	73,20	19,00	8,60	3,73	44,63	22,14	3,84
5	23,36	73,64	13,90	11,60	3,00	27,91	18,18	8,00
6	13,96	91,60	13,94	29,60	2,40	62,30	38,50	7,80
7	22,11	89,46	11,75	27,60	1,90	60,40	36,60	7,80
8	22,47	94,15	9,20	30,00	2,00	63,10	37,00	7,00
9	29,55	94,05	8,00	30,20	2,00	63,55	36,92	6,40
10	27,16	89,32	12,88	31,00	1,20	52,53	41,50	9,70

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
11	28,34	86,66	12,10	34,20	1,60	49,81	41,91	9,10
12	89,40	92,99	31,38	24,00	-	54,19	41,80	21,21
13	34,45	92,63	15,25	22,60	4,20	53,49	29,20	4,50
max	89,40	97,66	31,38	44,00	4,20	79,58	50,40	21,21
min	13,96	73,20	4,30	6,20	0,15	20,90	18,18	3,84
x	30,19	89,53	12,62	25,88	2,01	54,59	35,83	8,52
s	18,68	7,67	7,01	11,18	1,19	16,73	9,33	4,57
Vk	61,86	8,57	55,53	43,20	59,05	30,65	26,03	53,63

Tabelle 63: Charakterisierung der beprobten Nawaro 2004

Nr.	TS ( % )	oTS ( % TS )	Rohprotein ( % TS )	Rohfaser ( % TS )	Rohfett ( % TS )	NDF ( % TS )	ADF ( % TS )	ADL ( % TS )
14	25,18	92,46	3,20	46,80	0,50	79,20	52,90	10,98
15	22,84	96,66	6,20	4,80	3,65	13,31	6,38	0,10
16	20,72	80,74	16,30	15,80	5,60	32,80	20,80	11,62
17	21,85	92,78	9,38	34,20	1,30	62,30	39,40	5,61
18	30,46	94,87	9,60	33,20	1,20	67,20	40,60	7,59
19	18,45	90,39	13,50	27,90	2,02	56,80	35,10	6,00
20	35,19	95,20	9,10	32,90	1,07	65,60	38,60	8,36
21	37,20	94,02	10,60	27,60	2,64	58,50	33,20	5,30
22	36,84	94,94	12,29	27,40	2,70	55,30	35,40	7,19
23	31,89	87,18	14,40	25,20	2,53	51,10	29,90	6,70
24	30,29	91,79	14,80	28,80	1,90	53,70	33,60	5,40
25	35,09	92,16	8,69	22,80	2,40	56,50	27,30	5,34
26	31,10	89,87	16,60	26,20	1,96	53,60	38,07	10,90
27	29,89	85,99	14,60	29,50	0,73	53,20	34,10	11,57
max	37,20	96,66	16,60	46,80	5,60	79,20	52,90	11,62
min	18,45	80,74	3,20	4,80	0,50	13,31	6,38	0,10
x	29,07	91,36	11,38	27,36	2,16	54,22	33,24	7,33
s	6,23	4,31	3,94	9,47	1,32	15,60	10,61	3,20
Vk	21,44	4,72	34,64	34,61	61,05	28,77	31,91	43,59

# 10.3 Normalverteilungstest

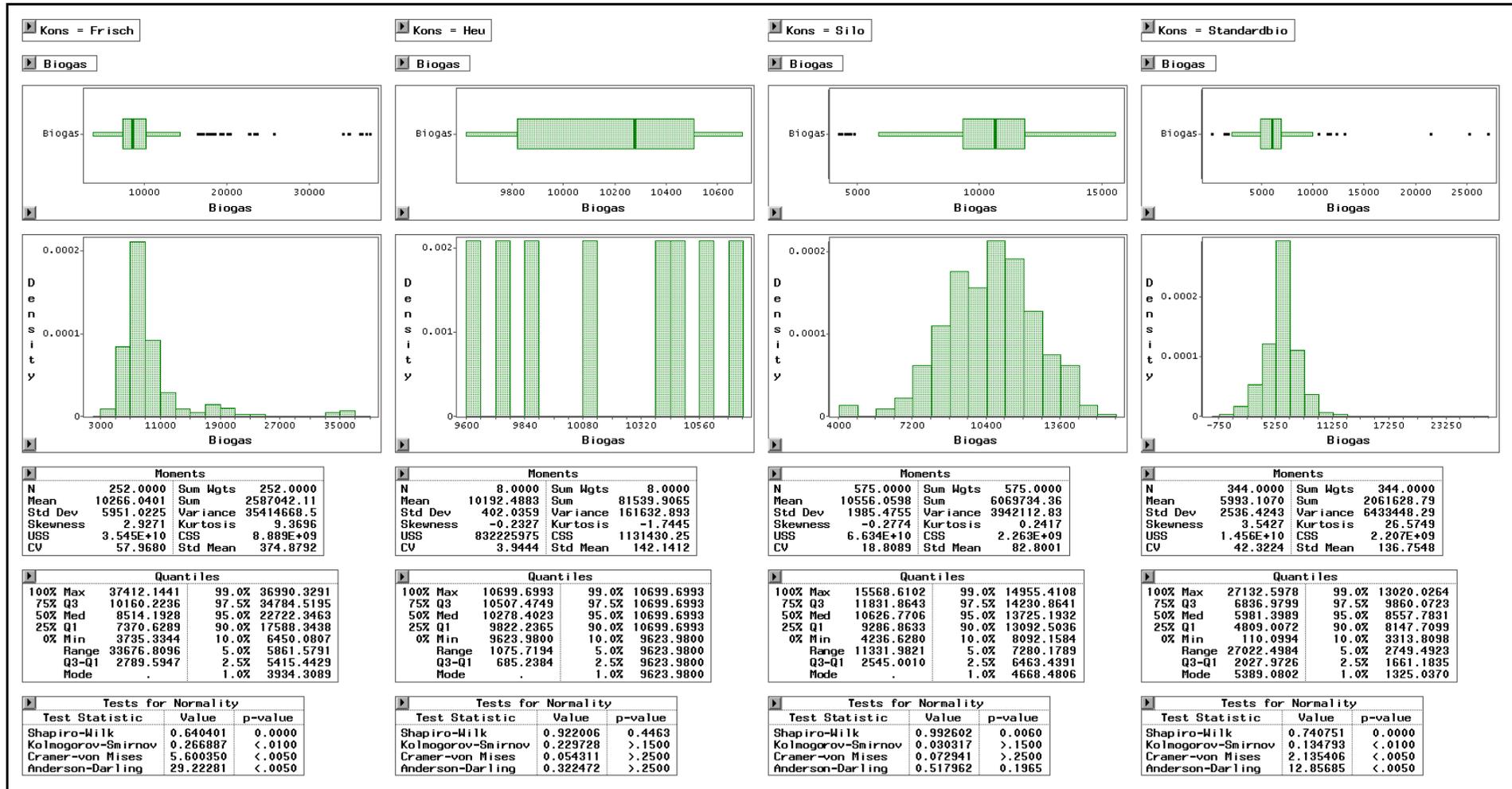


Abbildung 22: Normalverteilungstest auf Biogas in Abhängigkeit der Konservierung

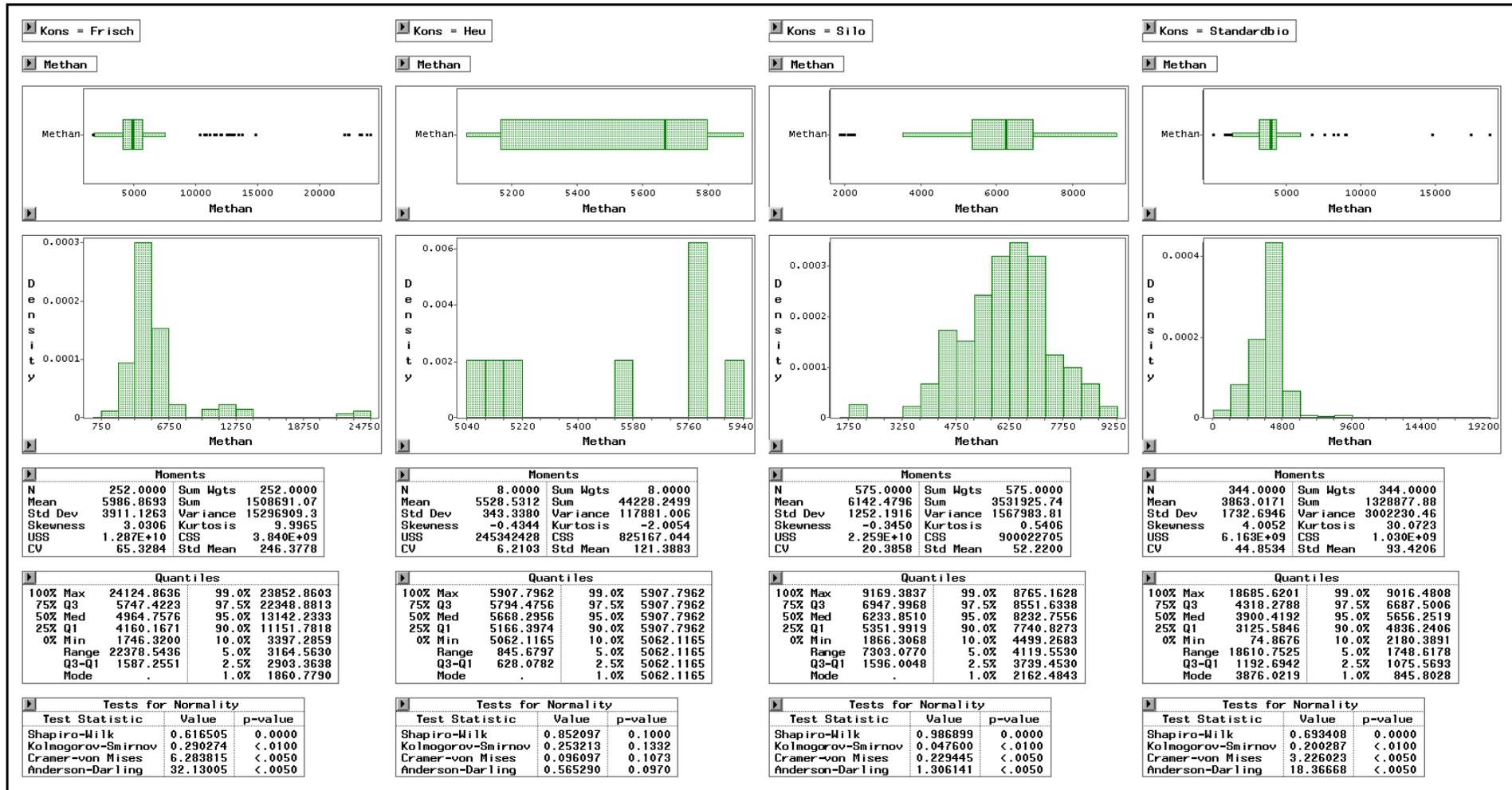


Abbildung 23: Normalverteilungstest auf Methan in Abhängigkeit der Konservierung

## 10.4 Statistische Auswertungen

### 10.4.1 Regressionen für Biogas- und Methanerträge der abgebauten Inhaltsstoffe

#### 10.4.1.1 Weender Analyse – Biogas

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	827

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	10164786425	1016478642	827.95	<.0001
Fehler	816	1001805411	1227703		
Korrigierte Summe	826	11166591836			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Biogas Mittelwert
0.910285	10.58512	1108.017	10467.69

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	2183763798	363960633	296.46	<.0001
XP	1	2063580766	2063580766	1680.85	<.0001
XL	1	1202015189	1202015189	979.08	<.0001
XF	1	1615536605	1615536605	1315.90	<.0001
XX	1	3099890067	3099890067	2524.95	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	164973817	27495636	22.40	<.0001
XP	1	48174793	48174793	39.24	<.0001
XL	1	584288853	584288853	475.92	<.0001
XF	1	772792029	772792029	629.46	<.0001
XX	1	3099890067	3099890067	2524.95	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	817.675117 B	187.2549402	4.37	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	48.980390 B	177.9308315	0.28	0.7832
ART(Kons) Grunland Frisch	-612.644009 B	205.0731818	-2.99	0.0029
ART(Kons) Nawaro Frisch	-523.574373 B	263.8506738	-1.98	0.0476
ART(Kons) Gras Silo	935.679967 B	170.3034874	5.49	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	525.210741 B	191.0843831	2.75	0.0061
ART(Kons) Mais Silo	532.531828 B	158.5877668	3.36	0.0008
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	356.393879	56.8940584	6.26	<.0001
XL	1698.998517	77.8799755	21.82	<.0001
XF	880.789038	35.1064723	25.09	<.0001
XX	755.796405	15.0410544	50.25	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	100483812998	25120953250	15913.3	<.0001
Fehler	823	1299198416	1578612.8991		
Unkorrigierte Summe	827	101783011414			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.987236      12.00293      1256.429      10467.69

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	80273490735	80273490735	50850.6	<.0001
XL	1	5430172174	5430172174	3439.84	<.0001
XF	1	10490355384	10490355384	6645.30	<.0001
XX	1	4289794706	4289794706	2717.45	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	281409982	281409982	178.26	<.0001
XL	1	557569648	557569648	353.20	<.0001
XF	1	2269814356	2269814356	1437.85	<.0001
XX	1	4289794706	4289794706	2717.45	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	652.216417	48.84946376	13.35	<.0001
XL	1598.692070	85.06542616	18.79	<.0001
XF	1146.173762	30.22686572	37.92	<.0001
XX	723.704845	13.88292730	52.13	<.0001

### 10.4.1.2 Weender Analyse - Methan

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	827

Abhängige Variable: Methan Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	4284847329	428484733	761.85	<.0001
Fehler	816	458942271	562429		
Korrigierte Summe	826	4743789600			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Methan Mittelwert
0.903254	12.30427	749.9528	6095.063

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	950157636	158359606	281.56	<.0001
XP	1	906679844	906679844	1612.08	<.0001
XL	1	682242700	682242700	1213.03	<.0001
XF	1	572552048	572552048	1018.00	<.0001
XX	1	1173215101	1173215101	2085.98	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	72829285	12138214	21.58	<.0001
XP	1	23791777	23791777	42.30	<.0001
XL	1	388771647	388771647	691.24	<.0001
XF	1	266349499	266349499	473.57	<.0001
XX	1	1173215101	1173215101	2085.98	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	-26.018089 B	126.7420210	-0.21	0.8374
ART(Kons) Gras Frisch	85.441640 B	120.4310719	0.71	0.4782
ART(Kons) Grunland Frisch	-208.098153 B	138.8021565	-1.50	0.1342
ART(Kons) Nawaro Frisch	-552.039254 B	178.5852357	-3.09	0.0021
ART(Kons) Gras Silo	704.261221 B	115.2685646	6.11	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	234.626558 B	129.3339490	1.81	0.0700
ART(Kons) Mais Silo	249.521618 B	107.3388721	2.32	0.0203
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	250.457330	38.5082921	6.50	<.0001
XL	1385.882757	52.7124437	26.29	<.0001
XF	517.090461	23.7615373	21.76	<.0001
XX	464.965251	10.1804184	45.67	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	34930236156	8732559039	13397.7	<.0001
Fehler	823	536428672	651797		
Unkorrigierte Summe	827	35466664828			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.984875      13.24579      807.3393      6095.063

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	27966091252	27966091252	42906.2	<.0001
XL	1	2328020085	2328020085	3571.70	<.0001
XF	1	3142718811	3142718811	4821.62	<.0001
XX	1	1493406007	1493406007	2291.21	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	110068642	110068642	168.87	<.0001
XL	1	400145580	400145580	613.91	<.0001
XF	1	600251589	600251589	920.92	<.0001
XX	1	1493406007	1493406007	2291.21	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	407.900071	31.38904125	12.99	<.0001
XL	1354.329288	54.66021457	24.78	<.0001
XF	589.416043	19.42277892	30.35	<.0001
XX	427.004226	8.92070750	47.87	<.0001

### 10.4.1.3 Erweiterte Weender Analyse - Biogas

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 959  
Number of Observations Used 809

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheitsgrade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	11	9270990842	842817349	798.57	<.0001
Fehler	797	841156083	1055403		
Korrigierte Summe	808	10112146925			

R-Quadrat 0.916817    Koeff.var 9.866264    Wurzel MSE 1027.328    Biogas Mittelwert 10412.53

Quelle	Freiheitsgrade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	1718317468	286386245	271.35	<.0001
XP	1	1914613264	1914613264	1814.11	<.0001
XL	1	1852455925	1852455925	1755.21	<.0001
OR	1	195674299	195674299	185.40	<.0001
HC	1	2943795348	2943795348	2789.26	<.0001
CL	1	646134538	646134538	612.22	<.0001

Quelle	Freiheitsgrade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	266254369	44375728	42.05	<.0001
XP	1	52143985	52143985	49.41	<.0001
XL	1	604578202	604578202	572.84	<.0001
OR	1	564868377	564868377	535.22	<.0001
HC	1	1414092112	1414092112	1339.86	<.0001
CL	1	646134538	646134538	612.22	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	891.461558 B	172.1680414	5.18	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	96.174230 B	166.0079935	0.58	0.5625
ART(Kons) Grunland Frisch	-669.168346 B	190.8877210	-3.51	0.0005
ART(Kons) Nawaro Frisch	-432.022675 B	291.1042344	-1.48	0.1382
ART(Kons) Gras Silo	1232.789210 B	160.7002859	7.67	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	543.450240 B	180.5002226	3.01	0.0027
ART(Kons) Mais Silo	834.235537 B	150.9321259	5.53	<.0001
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.

---

XP	375.835178	53.4692945	7.03	<.0001
XL	1853.921160	77.4594044	23.93	<.0001
OR	556.788261	24.0672004	23.13	<.0001
HC	896.445097	24.4902930	36.60	<.0001
CL	748.035361	30.2322023	24.74	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      809

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	5	96477755721	19295551144	11518.4	<.0001
Fehler	804	1346850334	1675187		
Unkorrigierte Summe	809	97824606055			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.986232      12.43012      1294.290      10412.53

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	77273834086	77273834086	46128.5	<.0001
XL	1	6904365660	6904365660	4121.55	<.0001
OR	1	3403600133	3403600133	2031.77	<.0001
HC	1	7545922200	7545922200	4504.53	<.0001
CL	1	1350033640	1350033640	805.90	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	327315986	327315986	195.39	<.0001
XL	1	593288740	593288740	354.16	<.0001
OR	1	1167064921	1167064921	696.68	<.0001
HC	1	1539429875	1539429875	918.96	<.0001
CL	1	1350033640	1350033640	805.90	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	718.542701	51.40443834	13.98	<.0001
XL	1767.834109	93.93773855	18.82	<.0001
OR	684.661767	25.93941716	26.39	<.0001
HC	870.772366	28.72475465	30.31	<.0001
CL	914.254421	32.20523099	28.39	<.0001

### 10.4.1.4 Erweiterte Weender Analyse - Methan

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 959  
Number of Observations Used 809

Abhängige Variable: Methan Methan

Quelle	Freiheitsgrade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	11	3997673745	363424886	729.09	<.0001
Fehler	797	397276090	498464		
Korrigierte Summe	808	4394949835			

R-Quadrat 0.909606    Koeff.var 11.62723    Wurzel MSE 706.0201    Methan Mittelwert 6072.128

Quelle	Freiheitsgrade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	764984292	127497382	255.78	<.0001
XP	1	858317667	858317667	1721.92	<.0001
XL	1	951714533	951714533	1909.29	<.0001
OR	1	84402293	84402293	169.32	<.0001
HC	1	1122715684	1122715684	2252.35	<.0001
CL	1	215539276	215539276	432.41	<.0001

Quelle	Freiheitsgrade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	104738724.6	17456454.1	35.02	<.0001
XP	1	27912247.0	27912247.0	56.00	<.0001
XL	1	369271065.0	369271065.0	740.82	<.0001
OR	1	225610234.4	225610234.4	452.61	<.0001
HC	1	560227537.9	560227537.9	1123.91	<.0001
CL	1	215539276.5	215539276.5	432.41	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	-19.100670 B	118.3206258	-0.16	0.8718
ART(Kons) Gras Frisch	93.071569 B	114.0871994	0.82	0.4149
ART(Kons) Grunland Frisch	-257.319870 B	131.1855233	-1.96	0.0502
ART(Kons) Nawaro Frisch	-451.755291 B	200.0582390	-2.26	0.0242
ART(Kons) Gras Silo	861.358833 B	110.4395348	7.80	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	240.878172 B	124.0468273	1.94	0.0525
ART(Kons) Mais Silo	409.926692 B	103.7264724	3.95	<.0001
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	274.974689	36.7461948	7.48	<.0001
XL	1448.897485	53.2331386	27.22	<.0001
OR	351.881016	16.5399233	21.27	<.0001
HC	564.244160	16.8306892	33.52	<.0001
CL	432.039904	20.7767543	20.79	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Methan aus abgebaute Inhaltsstoffe  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      809

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	5	33703439398	6740687880	10423.4	<.0001
Fehler	804	519936141	646687		
Unkorrigierte Summe	809	34223375539			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.984808      13.24360      804.1684      6072.128

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	27013379696	27013379696	41772.0	<.0001
XL	1	2876114624	2876114624	4447.46	<.0001
OR	1	1045996723	1045996723	1617.47	<.0001
HC	1	2415245566	2415245566	3734.80	<.0001
CL	1	352702789	352702789	545.40	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	130587079.3	130587079.3	201.93	<.0001
XL	1	394587544.6	394587544.6	610.17	<.0001
OR	1	351664759.4	351664759.4	543.79	<.0001
HC	1	554748502.6	554748502.6	857.83	<.0001
CL	1	352702789.1	352702789.1	545.40	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	453.857042	31.93860567	14.21	<.0001
XL	1441.717407	58.36539579	24.70	<.0001
OR	375.831341	16.11667869	23.32	<.0001
HC	522.724375	17.84726458	29.29	<.0001
CL	467.303701	20.00975415	23.35	<.0001

## 10.4.2 Regressionen für Biogas- und Methanerträge des gesamten Inputs

### 10.4.2.1 Weender Analyse – Biogas

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus Input in Gramm  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
Kons	2	Frisch Silo
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	827

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	9595580016	959558002	498.40	<.0001
Fehler	816	1571011819	1925260		
Korrigierte Summe	826	11166591836			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Biogas Mittelwert
0.859311	13.25543	1387.537	10467.69

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	2183763798	363960633	189.04	<.0001
XP	1	3452948776	3452948776	1793.50	<.0001
XF	1	950606075	950606075	493.75	<.0001
XL	1	788936442	788936442	409.78	<.0001
XX	1	2219324926	2219324926	1152.74	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	188234873	31372479	16.30	<.0001
XP	1	43210773	43210773	22.44	<.0001
XF	1	2844309	2844309	1.48	0.2245
XL	1	805323762	805323762	418.29	<.0001
XX	1	2219324926	2219324926	1152.74	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	-2870.082911 B	311.7349142	-9.21	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	-979.238104 B	206.0898421	-4.75	<.0001
ART(Kons) Grunland Frisch	-322.297185 B	260.3531774	-1.24	0.2161
ART(Kons) Nawaro Frisch	-1632.492468 B	330.9354381	-4.93	<.0001
ART(Kons) Gras Silo	332.221702 B	202.8690212	1.64	0.1019
ART(Kons) Grunland Silo	69.195681 B	231.0619253	0.30	0.7647
ART(Kons) Mais Silo	-98.837920 B	205.3427860	-0.48	0.6304
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	-236.970101	50.0198265	-4.74	<.0001
XF	40.583052	33.3888129	1.22	0.2245
XL	2113.844790	103.3552367	20.45	<.0001
XX	607.076575	17.8804184	33.95	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus Input in Gramm  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	99683497631	24920874408	9768.87	<.0001
Fehler	823	2099513782.8	2551049.5538		
Unkorrigierte Summe	827	101783011414			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.979373      15.25839      1597.201      10467.69

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	93759743598	93759743598	36753.4	<.0001
XL	1	2266117913	2266117913	888.31	<.0001
XF	1	617514609	617514609	242.06	<.0001
XX	1	3040121511	3040121511	1191.71	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	288437208	288437208	113.07	<.0001
XL	1	974632073	974632073	382.05	<.0001
XF	1	53148411	53148411	20.83	<.0001
XX	1	3040121511	3040121511	1191.71	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	-428.388243	40.2875957	-10.63	<.0001
XL	2232.232474	114.2032649	19.55	<.0001
XF	162.756302	35.6576008	4.56	<.0001
XX	483.502952	14.0059672	34.52	<.0001

## 10.4.2.2 Weender Analyse – Methan

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus Input in Gramm  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
Kons	2	Frisch Silo
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	827

Abhängige Variable: Methan Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	4075847753	407584775	497.93	<.0001
Fehler	816	667941847	818556		
Korrigierte Summe	826	4743789600			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Methan Mittelwert
0.859197	14.84383	904.7409	6095.063

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	950157636	158359606	193.46	<.0001
XP	1	1563734021	1563734021	1910.36	<.0001
XF	1	318068974	318068974	388.57	<.0001
XL	1	456034612	456034612	557.12	<.0001
XX	1	787852511	787852511	962.49	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	85297451.9	14216242.0	17.37	<.0001
XP	1	3263593.0	3263593.0	3.99	0.0462
XF	1	489566.5	489566.5	0.60	0.4395
XL	1	463445884.2	463445884.2	566.17	<.0001
XX	1	787852510.6	787852510.6	962.49	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	-2521.987965 B	203.2661430	-12.41	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	-662.336587 B	134.3804797	-4.93	<.0001
ART(Kons) Grunland Frisch	-44.780966 B	169.7627817	-0.26	0.7920
ART(Kons) Nawaro Frisch	-1292.702388 B	215.7858071	-5.99	<.0001
ART(Kons) Gras Silo	172.146476 B	132.2803497	1.30	0.1935
ART(Kons) Grunland Silo	-154.301378 B	150.6634779	-1.02	0.3061
ART(Kons) Mais Silo	-182.511924 B	133.8933632	-1.36	0.1732
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	-65.124669	32.6153303	-2.00	0.0462
XF	-16.836902	21.7711103	-0.77	0.4395
XL	1603.567899	67.3925805	23.79	<.0001
XX	361.705816	11.6588919	31.02	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Methan aus Input in Gramm  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	34447872837	8611968209	6956.92	<.0001
Fehler	823	1018791991	1237900		
Unkorrigierte Summe	827	35466664828			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.971275      18.25428      1112.610      6095.063

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	32249424284	32249424284	26051.7	<.0001
XF	1	503770913	503770913	406.96	<.0001
XL	1	770237442	770237442	622.21	<.0001
XX	1	924440198	924440198	746.78	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	99918035.0	99918035.0	80.72	<.0001
XF	1	10140647.7	10140647.7	8.19	0.0043
XL	1	583539048.2	583539048.2	471.39	<.0001
XX	1	924440197.6	924440197.6	746.78	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	-252.135411	28.06433435	-8.98	<.0001
XF	71.092784	24.83908049	2.86	0.0043
XL	1727.245356	79.55398077	21.71	<.0001
XX	266.620212	9.75655512	27.33	<.0001

### 10.4.2.3 Erweiterte Weender Analyse – Biogas

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus Input in Gramm  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	809

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	12	9145116600	762093050	612.00	<.0001
Fehler	796	991222200	1245254		
Korrigierte Summe	808	10136338800			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Biogas Mittelwert
0.902211	10.73045	1115.910	10399.46

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	1732672086	288778681	231.90	<.0001
XP	1	3243543580	3243543580	2604.72	<.0001
XL	1	1887079136	1887079136	1515.42	<.0001
OR	1	634247240	634247240	509.33	<.0001
HC	1	1388035603	1388035603	1114.66	<.0001
CL	1	72857233	72857233	58.51	<.0001
ADL	1	186681721	186681721	149.91	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	52133178.2	8688863.0	6.98	<.0001
XP	1	13898918.6	13898918.6	11.16	0.0009
XL	1	318308767.9	318308767.9	255.62	<.0001
OR	1	348250399.8	348250399.8	279.66	<.0001
HC	1	591261152.4	591261152.4	474.81	<.0001
CL	1	163320817.9	163320817.9	131.15	<.0001
ADL	1	186681720.5	186681720.5	149.91	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	1778.591515 B	345.9418655	5.14	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	-641.370594 B	177.5576164	-3.61	0.0003
ART(Kons) Grunland Frisch	-927.620325 B	228.6061414	-4.06	<.0001
ART(Kons) Nawaro Frisch	-1155.399276 B	323.4971062	-3.57	0.0004
ART(Kons) Gras Silo	-367.476840 B	175.1170313	-2.10	0.0362
ART(Kons) Grunland Silo	-178.662173 B	204.2967610	-0.87	0.3821
ART(Kons) Mais Silo	-220.552087 B	185.0161306	-1.19	0.2336
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	160.542330	48.0538328	3.34	0.0009
XL	1517.650408	94.9240848	15.99	<.0001
OR	468.096312	27.9909980	16.72	<.0001
HC	749.414372	34.3923080	21.79	<.0001
CL	384.181588	33.5463096	11.45	<.0001
ADL	-757.366889	61.8563648	-12.24	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus Input in Gramm  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      809

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	6	96553503395	16092250566	12017.6	<.0001
Fehler	803	1075266542	1339062		
Unkorrigierte Summe	809	97628769937			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.988986      11.12729      1157.178      10399.46

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	90317879414	90317879414	67448.6	<.0001
XL	1	3083751648	3083751648	2302.92	<.0001
OR	1	917197940	917197940	684.96	<.0001
HC	1	1845010898	1845010898	1377.84	<.0001
CL	1	194467524	194467524	145.23	<.0001
ADL	1	195195971	195195971	145.77	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	23648018.0	23648018.0	17.66	<.0001
XL	1	329155499.5	329155499.5	245.81	<.0001
OR	1	894572159.5	894572159.5	668.06	<.0001
HC	1	636606661.3	636606661.3	475.41	<.0001
CL	1	241301493.4	241301493.4	180.20	<.0001
ADL	1	195195970.9	195195970.9	145.77	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	171.664769	40.84925061	4.20	<.0001
XL	1521.634408	97.05324396	15.68	<.0001
OR	501.509949	19.40314626	25.85	<.0001
HC	716.508845	32.86141503	21.80	<.0001
CL	376.191559	28.02394908	13.42	<.0001
ADL	-579.356997	47.98562163	-12.07	<.0001

## 10.4.2.4 Erweiterte Weender Analyse – Methan

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus Input in Gramm  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read	959
Number of Observations Used	809

Abhängige Variable: Methan Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	12	3950959199	329246600	572.90	<.0001
Fehler	796	457464725	574704		
Korrigierte Summe	808	4408423924			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Methan Mittelwert
0.896229	12.50219	758.0926	6063.679

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	773523591	128920599	224.33	<.0001
XP	1	1491468439	1491468439	2595.19	<.0001
XL	1	882213443	882213443	1535.07	<.0001
OR	1	237085304	237085304	412.53	<.0001
HC	1	460422966	460422966	801.15	<.0001
CL	1	12637295	12637295	21.99	<.0001
ADL	1	93608160	93608160	162.88	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	17460010.8	2910001.8	5.06	<.0001
XP	1	25142471.5	25142471.5	43.75	<.0001
XL	1	189765389.6	189765389.6	330.20	<.0001
OR	1	141650699.8	141650699.8	246.48	<.0001
HC	1	216837716.8	216837716.8	377.30	<.0001
CL	1	45128961.1	45128961.1	78.53	<.0001
ADL	1	93608160.0	93608160.0	162.88	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	313.601062 B	235.0154525	1.33	0.1825
ART(Kons) Gras Frisch	-507.293552 B	120.6236878	-4.21	<.0001
ART(Kons) Grunland Frisch	-470.345899 B	155.3034805	-3.03	0.0025
ART(Kons) Nawaro Frisch	-1008.964202 B	219.7676153	-4.59	<.0001
ART(Kons) Gras Silo	-326.495820 B	118.9656774	-2.74	0.0062
ART(Kons) Grunland Silo	-332.956896 B	138.7889138	-2.40	0.0167
ART(Kons) Mais Silo	-344.858332 B	125.6906260	-2.74	0.0062
ART(Kons) Nawaro Silo	0.000000 B	.	.	.
XP	215.925056	32.6453499	6.61	<.0001
XL	1171.806615	64.4866348	18.17	<.0001
OR	298.537416	19.0156721	15.70	<.0001
HC	453.836852	23.3643991	19.42	<.0001
CL	201.949807	22.7896705	8.86	<.0001
ADL	-536.305526	42.0220939	-12.76	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regression Methan aus Input in Gramm  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      959  
Number of Observations Used      809

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	6	33678693716	5613115619	9485.09	<.0001
Fehler	803	475201744	591783		
Unkorrigierte Summe	809	34153895459			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.986086      12.68659      769.2743      6063.679

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	31160842077	31160842077	52655.9	<.0001
XL	1	1431622182	1431622182	2419.17	<.0001
OR	1	197637678	197637678	333.97	<.0001
HC	1	685926575	685926575	1159.08	<.0001
CL	1	56089777	56089777	94.78	<.0001
ADL	1	146575427	146575427	247.68	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	28852745.2	28852745.2	48.76	<.0001
XL	1	198236145.7	198236145.7	334.98	<.0001
OR	1	268140163.5	268140163.5	453.11	<.0001
HC	1	256918567.9	256918567.9	434.14	<.0001
CL	1	79206670.4	79206670.4	133.84	<.0001
ADL	1	146575426.5	146575426.5	247.68	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	189.617043	27.15595249	6.98	<.0001
XL	1180.867541	64.51950140	18.30	<.0001
OR	274.569820	12.89891271	21.29	<.0001
HC	455.180568	21.84576246	20.84	<.0001
CL	215.531087	18.62988962	11.57	<.0001
ADL	-502.043577	31.90010200	-15.74	<.0001

## 10.4.3 Regressionen für Biogas- und Methanerträge in Bezug auf die Frischmasse

### 10.4.3.1 Weender Analyse – Biogas

Für Biogas aus g/kg FM  
Bereinigte = partielle Korrelationskoeffizienten von MANOVA

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grünland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 958  
Number of Observations Used 827

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

E = Fehler-SSCP-Matrix

	Biogas	XP	XF	XL	XX
Biogas	859934.5123	91551.315585	223480.70268	28761.182371	697049.29534
XP	91551.315585	131444.15671	31707.542382	13542.544648	129915.51056
XF	223480.70268	31707.542382	227704.65476	5382.6652331	214430.70781
XL	28761.182371	13542.544648	5382.6652331	5699.1523632	36664.746273
XX	697049.29534	129915.51056	214430.70781	36664.746273	895128.73763

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

DF = 820	Biogas	XP	XF	XL	XX
Biogas	1.000000	0.272309 <.0001	0.505035 <.0001	0.410836 <.0001	0.794489 <.0001
XP	0.272309 <.0001	1.000000	0.183276 <.0001	0.494794 <.0001	0.378746 <.0001
XF	0.505035 <.0001	0.183276 <.0001	1.000000	0.149419 <.0001	0.474961 <.0001
XL	0.410836 <.0001	0.494794 <.0001	0.149419 <.0001	1.000000	0.513335 <.0001
XX	0.794489 <.0001	0.378746 <.0001	0.474961 <.0001	0.513335 <.0001	1.000000

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	Biogas	XP	XF	XL	XX
Biogas	1275560.8713	-146967.2434	191196.66974	13755.189597	1611269.1363
XP	-146967.2434	43284.382791	-9981.796223	893.26010449	-206279.0978
XF	191196.66974	-9981.796223	103464.12521	3713.0127892	219177.45308
XL	13755.189597	893.26010449	3713.0127892	645.14571147	15102.052781
XX	1611269.1363	-206279.0978	219177.45308	15102.052781	2080731.7245

Charakteristische Wurzeln und Vektoren von: E Inverse \* H, wobei  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

Charakteristische Wurzel	Prozent	Charakteristischer Vektor		V'EV=1			
		Biogas	XP	XF	XL	XX	
3.98403590	84.97	0.00005432	-0.00133830	-0.00075008	-0.00408979	0.00129079	
0.42465726	9.06	-0.00007693	-0.00047661	0.00227293	0.00311359	-0.00018415	
0.16395266	3.50	0.00099961	0.00202773	-0.00056431	0.00111854	-0.00048670	
0.07392120	1.58	0.00042666	-0.00202538	-0.00028487	0.01484058	-0.00060991	
0.04219244	0.90	-0.00147533	0.00046972	0.00014643	0.00604027	0.00113589	

MANOVA-Testkriterien und F-Approximationen für Hypothese von keinem Gesamt-ART(Kons)-Effekt  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

S=5    M=0    N=407

Statistik	Wert	F-Statistik	Zähler Freiheits- grade	Nenner Freiheits- grade	Pr > F
Wilks Lambda	0.10810674	80.99	30	3266	<.0001
Pillais Spur	1.34761200	50.43	30	4100	<.0001
Hotelling-Lawley-Spur	4.68875946	127.34	30	2164.9	<.0001
Roys größte Wurzel	3.98403590	544.48	6	820	<.0001

HINWEIS: F-Statistik für größten Eigenwert nach Roy ist eine Obergrenze.

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus g/kg FM  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
Kons	2	Frisch Silo
ART	4	Gras Grünland Mais Nawaro

Number of Observations Read 958  
Number of Observations Used 827

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	1838471.651	183847.165	505.08	<.0001
Fehler	816	297023.732	364.000		
Korrigierte Summe	826	2135495.384			

R-Quadrat 0.860911    Koeff.var 13.95451    Wurzel MSE 19.07878    Biogas Mittelwert 136.7212

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	1275560.871	212593.479	584.05	<.0001
XP	1	63765.812	63765.812	175.18	<.0001
XL	1	86805.569	86805.569	238.48	<.0001
XF	1	168130.619	168130.619	461.90	<.0001
XX	1	244208.779	244208.779	670.90	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	23364.5234	3894.0872	10.70	<.0001
XP	1	1596.6562	1596.6562	4.39	0.0365
XL	1	1151.6637	1151.6637	3.16	0.0757
XF	1	19056.2749	19056.2749	52.35	<.0001
XX	1	244208.7794	244208.7794	670.90	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	24.10133799 B	4.12547648	5.84	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	5.62336039 B	3.24767924	1.73	0.0837
ART(Kons) Grunland Frisch	8.97855600 B	3.63109262	2.47	0.0136
ART(Kons) Nawaro Frisch	-12.26014674 B	4.68974901	-2.61	0.0091
ART(Kons) Gras Silo	11.48632832 B	2.92962089	3.92	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	10.71972845 B	3.41269975	3.14	0.0017
ART(Kons) Mais Silo	14.09247692 B	3.79845629	3.71	0.0002
ART(Kons) Nawaro Silo	0.00000000 B	.	.	.
XP	-0.12884119	0.06151762	-2.09	0.0365
XL	0.57119850	0.32112544	1.78	0.0757
XF	0.33185487	0.04586482	7.24	<.0001
XX	0.69452026	0.02681358	25.90	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus g/kg FM  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      958  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	17225040.79	4306260.20	9596.56	<.0001
Fehler	823	369304.50	448.73		
Unkorrigierte Summe	827	17594345.29			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.979010      15.49375      21.18324      136.7212

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	12871292.24	12871292.24	28683.8	<.0001
XL	1	1672445.17	1672445.17	3727.07	<.0001
XF	1	1495408.80	1495408.80	3332.54	<.0001
XX	1	1185894.57	1185894.57	2642.78	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	7583.742	7583.742	16.90	<.0001
XL	1	2884.548	2884.548	6.43	0.0114
XF	1	75721.332	75721.332	168.75	<.0001
XX	1	1185894.568	1185894.568	2642.78	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	0.2157481279	0.05248046	4.11	<.0001
XL	0.8475260510	0.33427705	2.54	0.0114
XF	0.4860383998	0.03741570	12.99	<.0001
XX	0.7636091937	0.01485390	51.41	<.0001

Regressionsanalyse für Biogas aus g/kg FM  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM  
Kleinste-Quadrate-Mittelwerte  
Korrektur für multiple Vergleiche: Bonferroni

ART	Kons	Biogas LSMEAN	LSMEAN Anzahl
Gras	Frisch	133.451902	1
Grunland	Frisch	136.807098	2
Nawaro	Frisch	115.568395	3
Gras	Silo	139.314870	4
Grunland	Silo	138.548270	5
Mais	Silo	141.921019	6
Nawaro	Silo	127.828542	7

Kleinste-Quadrate-Mittelwerte für Effekt ART(Kons)  
Pr > |t| für H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Abhängige Variable: Biogas

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1		1.0000	0.0018	0.1095	1.0000	0.7121	1.0000
2	1.0000		0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.2859
3	0.0018	0.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.1913
4	0.1095	1.0000	<.0001		1.0000	1.0000	0.0020
5	1.0000	1.0000	<.0001	1.0000		1.0000	0.0366
6	0.7121	1.0000	<.0001	1.0000	1.0000		0.0046
7	1.0000	0.2859	0.1913	0.0020	0.0366	0.0046	

### 10.4.3.2 Weender Analyse – Methan

Für Methan aus g/kg FM  
 Bereinigte = partielle Korrelationskoeffizienten von MANOVA

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 958  
 Number of Observations Used 827

Die Prozedur GLM  
 Multivariate Varianzanalyse

E = Fehler-SSCP-Matrix

	Methan	XP	XF	XL	XX
Methan	229001.80125	41873.821772	116134.83152	14483.097493	331782.88617
XP	41873.821772	131444.15671	31707.542382	13542.544648	129915.51056
XF	116134.83152	31707.542382	227704.65476	5382.6652331	214430.70781
XL	14483.097493	13542.544648	5382.6652331	5699.1523632	36664.746273
XX	331782.88617	129915.51056	214430.70781	36664.746273	895128.73763

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

DF = 820	Methan	XP	XF	XL	XX
Methan	1.000000	0.241353 <.0001	0.508577 <.0001	0.400901 <.0001	0.732811 <.0001
XP	0.241353 <.0001	1.000000	0.183276 <.0001	0.494794 <.0001	0.378746 <.0001
XF	0.508577 <.0001	0.183276 <.0001	1.000000	0.149419 <.0001	0.474961 <.0001
XL	0.400901 <.0001	0.494794 <.0001	0.149419 <.0001	1.000000	0.513335 <.0001
XX	0.732811 <.0001	0.378746 <.0001	0.474961 <.0001	0.513335 <.0001	1.000000

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	Methan	XP	XF	XL	XX
Methan	309270.08548	-66586.11904	100220.28624	7209.8359999	782600.92023
XP	-66586.11904	43284.382791	-9981.796223	893.26010449	-206279.0978
XF	100220.28624	-9981.796223	103464.12521	3713.0127892	219177.45308
XL	7209.8359999	893.26010449	3713.0127892	645.14571147	15102.052781
XX	782600.92023	-206279.0978	219177.45308	15102.052781	2080731.7245

Charakteristische Wurzeln und Vektoren von: E Inverse \* H, wobei  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

Charakteristische Wurzel	Prozent	Charakteristischer Vektor		V'EV=1			NfE
		Methan	RP	RF	RL		
3.99335746	84.18	0.00018451	-0.00132347	-0.00077129	-0.00416136	0.00127015	
0.42445461	8.95	0.00011967	-0.00041025	0.00221755	0.00305129	-0.00027449	
0.20699051	4.36	0.00224595	0.00197710	-0.00079184	-0.00062674	-0.00052722	
0.07125101	1.50	0.00016689	-0.00177243	-0.00027533	0.01583436	-0.00032242	
0.04755628	1.00	-0.00228186	0.00123658	0.00024785	0.00301650	0.00094223	

MANOVA-Testkriterien und F-Approximationen für Hypothese von keinem Gesamt-ART(Kons)-Effekt  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

S=5    M=0    N=407

Statistik	Wert	F-Statistik	Zähler Freiheits- grade	Nenner Freiheits- grade	Pr > F
Wilks Lambda	0.10379735	82.93	30	3266	<.0001
Pillais Spur	1.38111325	52.16	30	4100	<.0001
Hotelling-Lawley-Spur	4.74360985	128.83	30	2164.9	<.0001
Roys größte Wurzel	3.99335746	545.76	6	820	<.0001

HINWEIS: F-Statistik für größten Eigenwert nach Roy ist eine Obergrenze.

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus g/kg FM  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
Kons	2	Frisch Silo
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro

Number of Observations Read 958  
Number of Observations Used 827

Abhängige Variable: Methan Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	10	441441.9388	44144.1939	372.01	<.0001
Fehler	816	96829.9479	118.6642		
Korrigierte Summe	826	538271.8867			

R-Quadrat 0.820110    Koeff.var 15.99115    Wurzel MSE 10.89331    Methan Mittelwert 68.12086

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	309270.0855	51545.0142	434.38	<.0001
XP	1	13339.6341	13339.6341	112.42	<.0001
XL	1	24026.2813	24026.2813	202.47	<.0001
XF	1	46608.4778	46608.4778	392.78	<.0001
XX	1	48197.4603	48197.4603	406.17	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	11953.20863	1992.20144	16.79	<.0001
XP	1	956.10398	956.10398	8.06	0.0046
XL	1	1211.71824	1211.71824	10.21	0.0014
XF	1	8337.02955	8337.02955	70.26	<.0001
XX	1	48197.46025	48197.46025	406.17	<.0001

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	11.95085399 B	2.35550152	5.07	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	2.02226292 B	1.85431027	1.09	0.2758
ART(Kons) Grunland Frisch	5.82990591 B	2.07322578	2.81	0.0050
ART(Kons) Nawaro Frisch	-8.17412775 B	2.67768123	-3.05	0.0023
ART(Kons) Gras Silo	7.83549528 B	1.67271017	4.68	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	5.21694617 B	1.94853115	2.68	0.0076
ART(Kons) Mais Silo	9.97540587 B	2.16878453	4.60	<.0001
ART(Kons) Nawaro Silo	0.00000000 B	.	.	.
XP	-0.09970148	0.03512439	-2.84	0.0046
XL	0.58590209	0.18335130	3.20	0.0014
XF	0.21950017	0.02618719	8.38	<.0001
XX	0.30854347	0.01530961	20.15	<.0001

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Methan aus g/kg FM  
Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      958  
Number of Observations Used      827

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	4	4256193.096	1064048.274	7313.93	<.0001
Fehler	823	119732.004	145.482		
Unkorrigierte Summe	827	4375925.100			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.972638      17.70619      12.06161      68.12086

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	3204703.180	3204703.180	22028.1	<.0001
XL	1	415947.336	415947.336	2859.09	<.0001
XF	1	380753.327	380753.327	2617.18	<.0001
XX	1	254789.253	254789.253	1751.34	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	963.0892	963.0892	6.62	0.0103
XL	1	1824.8228	1824.8228	12.54	0.0004
XF	1	27816.2702	27816.2702	191.20	<.0001
XX	1	254789.2526	254789.2526	1751.34	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	0.0768844484	0.02988205	2.57	0.0103
XL	0.6741003213	0.19033532	3.54	0.0004
XF	0.2945851887	0.02130427	13.83	<.0001
XX	0.3539473467	0.00845772	41.85	<.0001

Bereinigte Regression für Methan aus g/kg FM  
Weender Analyse

Die Prozedur GLM  
Kleinste-Quadrate-Mittelwerte  
Korrektur für multiple Vergleiche: Bonferroni

ART	Kons	Methan LSMEAN	LSMEAN Anzahl
Gras	Frisch	64.5619669	1
Grunland	Frisch	68.3696099	2
Nawaro	Frisch	54.3655762	3
Gras	Silo	70.3751993	4
Grunland	Silo	67.7566501	5
Mais	Silo	72.5151098	6
Nawaro	Silo	62.5397040	7

Kleinste-Quadrate-Mittelwerte für Effekt ART(Kons)  
Pr > |t| für H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Abhängige Variable: Methan

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1		0.4626	0.0018	<.0001	0.8308	0.0105	1.0000
2	0.4626		<.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.1059
3	0.0018	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	0.0492
4	<.0001	1.0000	<.0001		1.0000	1.0000	<.0001
5	0.8308	1.0000	<.0001	1.0000		0.9547	0.1590
6	0.0105	1.0000	<.0001	1.0000	0.9547		0.0001
7	1.0000	0.1059	0.0492	<.0001	0.1590	0.0001	

### 10.4.3.3 Erweiterte Weender Analyse – Biogas

Für Biogas aus gr/kg FM  
 Bereinigte = partielle Korrelationskoeffizienten von MANOVA

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 958  
 Number of Observations Used 814

Die Prozedur GLM  
 Multivariate Varianzanalyse

E = Fehler-SSCP-Matrix

	Biogas	XP	XL	OR
Biogas	841449.29798	93034.0654	29592.630917	334332.89922
XP	93034.0654	129191.15898	12826.775551	85987.538967
XL	29592.630917	12826.775551	5461.7284202	26314.371158
OR	334332.89922	85987.538967	26314.371158	525627.20819
HC	319521.68478	22023.683833	9942.764625	22569.210052
CL	229739.19694	35417.878876	4865.1264369	15427.689672
ADL	47922.151953	21994.873823	1755.0766318	31417.762223

E = Fehler-SSCP-Matrix

	HC	CL	ADL
Biogas	319521.68478	229739.19694	47922.151953
XP	22023.683833	35417.878876	21994.873823
XL	9942.764625	4865.1264369	1755.0766318
OR	22569.210052	15427.689672	31417.762223
HC	281265.37213	118333.46686	23876.824632
CL	118333.46686	229331.03997	23414.855435
ADL	23876.824632	23414.855435	24738.531481

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

DF = 807	Biogas	XP	XL	OR	HC	CL	ADL
Biogas	1.000000	0.282171 <.0001	0.436520 <.0001	0.502720 <.0001	0.656793 <.0001	0.522986 <.0001	0.332151 <.0001
XP	0.282171 <.0001	1.000000	0.482876 <.0001	0.329974 <.0001	0.115535 0.0010	0.205767 <.0001	0.389061 <.0001
XL	0.436520 <.0001	0.482876 <.0001	1.000000	0.491122 <.0001	0.253679 <.0001	0.137467 <.0001	0.150989 <.0001
OR	0.502720 <.0001	0.329974 <.0001	0.491122 <.0001	1.000000	0.058697 0.0954	0.044436 0.2070	0.275518 <.0001
HC	0.656793 <.0001	0.115535 0.0010	0.253679 <.0001	0.058697 0.0954	1.000000	0.465927 <.0001	0.286241 <.0001
CL	0.522986 <.0001	0.205767 <.0001	0.137467 <.0001	0.044436 0.2070	0.465927 <.0001	1.000000	0.310866 <.0001
ADL	0.332151 <.0001	0.389061 <.0001	0.150989 <.0001	0.275518 <.0001	0.286241 <.0001	0.310866 <.0001	1.000000

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	Biogas	XP	XL	OR
Biogas	1273593.545	-148071.1285	13427.65111	1163829.605
XP	-148071.1285	41646.423875	709.56466585	-125884.7669
XL	13427.65111	709.56466585	662.12195865	14482.554174
OR	1163829.605	-125884.7669	14482.554174	1088076.3675
HC	476648.24772	-75981.95279	3038.5457466	422766.97059
CL	208458.11378	-13372.69557	2528.3426462	166549.77183
ADL	-51220.37576	2039.1378291	-893.586937	-54609.56505

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	HC	CL	ADL
Biogas	476648.24772	208458.11378	-51220.37576
XP	-75981.95279	-13372.69557	2039.1378291
XL	3038.5457466	2528.3426462	-893.586937
OR	422766.97059	166549.77183	-54609.56505
HC	214061.98512	68574.788058	-8274.15881
CL	68574.788058	96320.021549	410.17684016
ADL	-8274.15881	410.17684016	7973.8864079

Charakteristische Wurzeln und Vektoren von: E Inverse \* H, wobei  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

Charakteristische Wurzel	Prozent	Charakteristischer Vektor		V'EV=1			OR	HC
		Biogas CL	XP ADL	XL				
4.52967858	79.55	0.00017746	-0.00063180	-0.00566615	0.00133520	0.00084005		
		0.00013184	-0.00298326					
0.60015534	10.54	-0.00041114	-0.00182014	0.00063303	0.00000287	0.00134066		
		-0.00081750	0.00474361					
0.39646750	6.96	-0.00030771	-0.00103625	0.00200943	0.00015225	-0.00050975		
		0.00227727	0.00216079					
0.09256926	1.63	-0.00064027	-0.00037512	0.01361495	0.00042503	0.00033690		
		-0.00002952	0.00117373					
0.06990258	1.23	-0.00044504	0.00263844	-0.00837107	0.00045349	0.00126201		
		-0.00005697	0.00066020					
0.00550535	0.10	-0.00081062	-0.00023641	-0.00500119	0.00116505	-0.00050959		
		0.00018345	0.00174691					
0.00000000	0.00	0.00157876	-0.00017514	-0.00010508	-0.00064233	-0.00181894		
		-0.00104949	0.00394176					

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

MANOVA-Testkriterien und F-Approximationen für Hypothese von keinem Gesamt-ART(Kons)-Effekt  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

S=6 M=0 N=399.5

Statistik	Wert	F-Statistik	Zähler Freiheits- grade	Nenner Freiheits- grade	Pr > F
Wilks Lambda	0.06885406	68.86	42	3760.5	<.0001
Pillais Spur	1.63366265	43.08	42	4836	<.0001
Hotelling-Lawley-Spur	5.69427860	108.41	42	2502.2	<.0001
Roys größte Wurzel	4.52967858	521.56	7	806	<.0001

HINWEIS: F-Statistik für größten Eigenwert nach Roy ist eine Obergrenze.

Bereinigte Regressionsanalyse für Biogas aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grünland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read	958
Number of Observations Used	814

Abhängige Variable: Biogas Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	12	1868300.047	155691.671	505.42	<.0001
Fehler	801	246742.796	308.043		
Korrigierte Summe	813	2115042.843			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Biogas Mittelwert
0.883339	12.83123	17.55117	136.7848

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	1273593.545	212265.591	689.08	<.0001
XP	1	66996.359	66996.359	217.49	<.0001
XL	1	98933.555	98933.555	321.17	<.0001
OR	1	88053.687	88053.687	285.85	<.0001
HC	1	295063.590	295063.590	957.86	<.0001
CL	1	45248.059	45248.059	146.89	<.0001
ADL	1	411.252	411.252	1.34	0.2483

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	10627.3664	1771.2277	5.75	<.0001
XP	1	20.7130	20.7130	0.07	0.7955
XL	1	1726.4245	1726.4245	5.60	0.0182
OR	1	112654.4529	112654.4529	365.71	<.0001
HC	1	146187.1195	146187.1195	474.57	<.0001
CL	1	45464.2078	45464.2078	147.59	<.0001
ADL	1	411.2522	411.2522	1.34	0.2483

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	17.66914937 B	3.89941880	4.53	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	7.07326406 B	3.04340197	2.32	0.0204
ART(Kons) Grunland Frisch	12.93250416 B	3.27444249	3.95	<.0001
ART(Kons) Nawaro Frisch	0.36529374 B	5.01291632	0.07	0.9419
ART(Kons) Gras Silo	10.79342996 B	2.89923699	3.72	0.0002
ART(Kons) Grunland Silo	12.45819307 B	3.24517745	3.84	0.0001
ART(Kons) Mais Silo	17.65691238 B	3.94973502	4.47	<.0001
ART(Kons) Nawaro Silo	0.00000000 B	.	.	.
XP	0.01574827	0.06073196	0.26	0.7955
XL	0.73721662	0.31140623	2.37	0.0182
OR	0.55357379	0.02894725	19.12	<.0001
HC	0.85896101	0.03942983	21.78	<.0001
CL	0.51879570	0.04270390	12.15	<.0001
ADL	-0.15227009	0.13178515	-1.16	0.2483

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Biogas aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      958  
Number of Observations Used      814

Abhängige Variable: Biogas      Biogas

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	6	17049005.39	2841500.90	7755.62	<.0001
Fehler	808	296034.77	366.38		
Unkorrigierte Summe	814	17345040.16			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Biogas Mittelwert  
0.982933      13.99355      19.14105      136.7848

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	12719490.20	12719490.20	34716.7	<.0001
XL	1	1718355.51	1718355.51	4690.10	<.0001
OR	1	1665912.23	1665912.23	4546.96	<.0001
HC	1	808118.83	808118.83	2205.69	<.0001
CL	1	133701.95	133701.95	364.93	<.0001
ADL	1	3426.67	3426.67	9.35	0.0023

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	11488.2108	11488.2108	31.36	<.0001
XL	1	2310.5488	2310.5488	6.31	0.0122
OR	1	395867.2269	395867.2269	1080.48	<.0001
HC	1	249223.6782	249223.6782	680.23	<.0001
CL	1	136612.9549	136612.9549	372.87	<.0001
ADL	1	3426.6730	3426.6730	9.35	0.0023

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	0.3070723612	0.05483782	5.60	<.0001
XL	0.7810108002	0.31100341	2.51	0.0122
OR	0.6270423025	0.01907602	32.87	<.0001
HC	0.9378648299	0.03595930	26.08	<.0001
CL	0.6913978863	0.03580534	19.31	<.0001
ADL	-.3579481194	0.11704407	-3.06	0.0023

Bereinigte Regressionsanalyse Biogas aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM  
Kleinste-Quadrate-Mittelwerte  
Korrektur für multiple Vergleiche: Bonferroni

ART	Kons	Biogas LSMEAN	LSMEAN Anzahl
Gras	Frisch	133.218537	1
Grunland	Frisch	139.077777	2
Nawaro	Frisch	126.510567	3
Gras	Silo	136.938703	4
Grunland	Silo	138.603466	5
Mais	Silo	143.802185	6
Nawaro	Silo	126.145273	7

Kleinste-Quadrate-Mittelwerte für Effekt ART(Kons)  
Pr > |t| für H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Abhängige Variable: Biogas

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1		0.6150	1.0000	1.0000	0.9633	0.2121	0.4277
2	0.6150		0.2564	1.0000	1.0000	1.0000	0.0018
3	1.0000	0.2564		0.5537	0.3212	0.0222	1.0000
4	1.0000	1.0000	0.5537		1.0000	1.0000	0.0044
5	0.9633	1.0000	0.3212	1.0000		1.0000	0.0028
6	0.2121	1.0000	0.0222	1.0000	1.0000		0.0002
7	0.4277	0.0018	1.0000	0.0044	0.0028	0.0002	

### 10.4.3.4 Erweiterte Weender Analyse – Methan

Für Methan aus gr/kg FM  
 Bereinigte = partielle Korrelationskoeffizienten von MANOVA

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
ART	4	Gras Grünland Mais Nawaro
Kons	2	Frisch Silo

Number of Observations Read 958  
 Number of Observations Used 814

Die Prozedur GLM  
 Multivariate Varianzanalyse

E = Fehler-SSCP-Matrix

	Methan	XP	XL	OR
Methan	226003.07056	42320.408636	14754.343321	151750.86885
XP	42320.408636	129191.15898	12826.775551	85987.538967
XL	14754.343321	12826.775551	5461.7284202	26314.371158
OR	151750.86885	85987.538967	26314.371158	525627.20819
HC	162332.80654	22023.683833	9942.764625	22569.210052
CL	115428.4996	35417.878876	4865.1264369	15427.689672
ADL	22527.586236	21994.873823	1755.0766318	31417.762223

E = Fehler-SSCP-Matrix

	HC	CL	ADL
Methan	162332.80654	115428.4996	22527.586236
XP	22023.683833	35417.878876	21994.873823
XL	9942.764625	4865.1264369	1755.0766318
OR	22569.210052	15427.689672	31417.762223
HC	281265.37213	118333.46686	23876.824632
CL	118333.46686	229331.03997	23414.855435
ADL	23876.824632	23414.855435	24738.531481

Partial Correlation Coefficients from the Error SSCP Matrix / Prob > |r|

DF = 807	Methan	XP	XL	OR	HC	CL	ADL
Methan	1.000000	0.247672 <.0001	0.419950 <.0001	0.440286 <.0001	0.643859 <.0001	0.507019 <.0001	0.301280 <.0001
XP	0.247672 <.0001	1.000000	0.482876 <.0001	0.329974 <.0001	0.115535 0.0010	0.205767 <.0001	0.389061 <.0001
XL	0.419950 <.0001	0.482876 <.0001	1.000000	0.491122 <.0001	0.253679 <.0001	0.137467 <.0001	0.150989 <.0001
OR	0.440286 <.0001	0.329974 <.0001	0.491122 <.0001	1.000000	0.058697 0.0954	0.044436 0.2070	0.275518 <.0001
HC	0.643859 <.0001	0.115535 0.0010	0.253679 <.0001	0.058697 0.0954	1.000000	0.465927 <.0001	0.286241 <.0001
CL	0.507019 <.0001	0.205767 <.0001	0.137467 <.0001	0.044436 0.2070	0.465927 <.0001	1.000000	0.310866 <.0001
ADL	0.301280 <.0001	0.389061 <.0001	0.150989 <.0001	0.275518 <.0001	0.286241 <.0001	0.310866 <.0001	1.000000

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	Methan	XP	XL	OR
Methan	308929.22977	-67859.34462	6895.8890145	570660.34444
XP	-67859.34462	41646.423875	709.56466585	-125884.7669
XL	6895.8890145	709.56466585	662.12195865	14482.554174
OR	570660.34444	-125884.7669	14482.554174	1088076.3675
HC	228958.69623	-75981.95279	3038.5457466	422766.97059
CL	109309.59116	-13372.69557	2528.3426462	166549.77183
ADL	-25665.18876	2039.1378291	-893.586937	-54609.56505

H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)

	HC	CL	ADL
Methan	228958.69623	109309.59116	-25665.18876
XP	-75981.95279	-13372.69557	2039.1378291
XL	3038.5457466	2528.3426462	-893.586937
OR	422766.97059	166549.77183	-54609.56505
HC	214061.98512	68574.788058	-8274.15881
CL	68574.788058	96320.021549	410.17684016
ADL	-8274.15881	410.17684016	7973.8864079

Charakteristische Wurzeln und Vektoren von: E Inverse \* H, wobei  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

Charakteristische Wurzel	Prozent	Charakteristischer Vektor		V'EV=1			OR	HC
		Methan CL	XP ADL	XL				
4.53690008	79.14	0.00033828	-0.00061675	-0.00573303	0.00135103	0.00084164		
		0.00013942	-0.00298709					
0.64302036	11.22	-0.00112539	-0.00178054	0.00094446	0.00008008	0.00147728		
		-0.00076468	0.00442827					
0.38737473	6.76	-0.00015298	-0.00115669	0.00188051	-0.00001091	-0.00067966		
		0.00213149	0.00247245					
0.09220782	1.61	-0.00097711	-0.00081795	0.01497146	0.00028885	-0.00001785		
		0.00008800	0.00092760					
0.06528864	1.14	-0.00036087	0.00246661	-0.00531280	0.00027701	0.00097750		
		-0.00020518	0.00132751					
0.00799984	0.14	-0.00209030	0.00014421	-0.00532744	0.00118241	-0.00014958		
		0.00058208	0.00055858					
0.00000000	0.00	0.00229267	-0.00056366	-0.00101862	-0.00019247	-0.00173643		
		-0.00110283	0.00434610					

Die Prozedur GLM  
Multivariate Varianzanalyse

MANOVA-Testkriterien und F-Approximationen für Hypothese von keinem Gesamt-ART(Kons)-Effekt  
H = Typ III SSCP-Matrix für ART(Kons)  
E = Fehler-SSCP-Matrix

S=6 M=0 N=399.5

Statistik	Wert	F-Statistik	Zähler Freiheits- grade	Nenner Freiheits- grade	Pr > F
Wilks Lambda	0.06755594	69.51	42	3760.5	<.0001
Pillais Spur	1.64361950	43.44	42	4836	<.0001
Hotelling-Lawley-Spur	5.73279147	109.15	42	2502.2	<.0001
Roys größte Wurzel	4.53690008	522.39	7	806	<.0001

HINWEIS: F-Statistik für größten Eigenwert nach Roy ist eine Obergrenze.

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM

Klassifizierungsausprägungsinformationen

Klasse	Ausprägungen	Werte
Kons	2	Frisch Silo
ART	4	Gras Grunland Mais Nawaro

Number of Observations Read	958
Number of Observations Used	814

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	12	452389.9307	37699.1609	365.84	<.0001
Fehler	801	82542.3697	103.0492		
Korrigierte Summe	813	534932.3003			

R-Quadrat	Koeff.var	Wurzel MSE	Methan Mittelwert
0.845696	14.88364	10.15131	68.20450

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	308929.2298	51488.2050	499.65	<.0001
XP	1	13863.3092	13863.3092	134.53	<.0001
XL	1	26587.9939	26587.9939	258.01	<.0001
OR	1	15799.4488	15799.4488	153.32	<.0001
HC	1	75570.5690	75570.5690	733.34	<.0001
CL	1	11508.9542	11508.9542	111.68	<.0001
ADL	1	130.4257	130.4257	1.27	0.2609

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
ART(Kons)	6	5209.55193	868.25865	8.43	<.0001
XP	1	47.03029	47.03029	0.46	0.4995
XL	1	1122.20950	1122.20950	10.89	0.0010
OR	1	21450.68251	21450.68251	208.16	<.0001
HC	1	37599.27904	37599.27904	364.87	<.0001
CL	1	11604.95839	11604.95839	112.62	<.0001
ADL	1	130.42567	130.42567	1.27	0.2609

---

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
Konstante	9.55776715 B	2.25536121	4.24	<.0001
ART(Kons) Gras Frisch	2.05727140 B	1.76025483	1.17	0.2429
ART(Kons) Grunland Frisch	6.35429854 B	1.89388495	3.36	0.0008
ART(Kons) Nawaro Frisch	-2.51200677 B	2.89939029	-0.87	0.3865
ART(Kons) Gras Silo	7.83118001 B	1.67687211	4.67	<.0001
ART(Kons) Grunland Silo	5.63447888 B	1.87695852	3.00	0.0028
ART(Kons) Mais Silo	10.25562908 B	2.28446330	4.49	<.0001
ART(Kons) Nawaro Silo	0.00000000 B	.	.	.
XP	-0.02373013	0.03512639	-0.68	0.4995
XL	0.59437193	0.18011236	3.30	0.0010
OR	0.24155826	0.01674262	14.43	<.0001
HC	0.43562085	0.02280558	19.10	<.0001
CL	0.26210985	0.02469925	10.61	<.0001
ADL	-0.08575156	0.07622242	-1.13	0.2609

HINWEIS: The X'X matrix has been found to be singular, and a generalized inverse was used to solve the normal equations. Terms whose estimates are followed by the letter 'B' are not uniquely estimable.

Regressionsanalyse für Methan aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse - ohne Konstante

Die Prozedur GLM

Number of Observations Read      958  
Number of Observations Used      814

Abhängige Variable: Methan    Methan

Quelle	Freiheits- grade	Summe der Quadrate	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
Modell	6	4224738.641	704123.107	5877.24	<.0001
Fehler	808	96802.517	119.805		
Unkorrigierte Summe	814	4321541.158			

R-Quadrat      Koeff.var      Wurzel MSE      Methan Mittelwert  
0.977600      16.04814      10.94555      68.20450

Quelle	Freiheits- grade	Typ I SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	3168585.964	3168585.964	26447.8	<.0001
XL	1	425516.058	425516.058	3551.74	<.0001
OR	1	385944.466	385944.466	3221.44	<.0001
HC	1	203075.899	203075.899	1695.05	<.0001
CL	1	39654.948	39654.948	331.00	<.0001
ADL	1	1961.307	1961.307	16.37	<.0001

Quelle	Freiheits- grade	Typ III SS	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F
XP	1	2617.32909	2617.32909	21.85	<.0001
XL	1	1187.38207	1187.38207	9.91	0.0017
OR	1	84074.41288	84074.41288	701.76	<.0001
HC	1	59777.19515	59777.19515	498.95	<.0001
CL	1	41616.18739	41616.18739	347.37	<.0001
ADL	1	1961.30689	1961.30689	16.37	<.0001

Parameter	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr >  t
XP	0.1465695300	0.03135828	4.67	<.0001
XL	0.5598796853	0.17784314	3.15	0.0017
OR	0.2889708185	0.01090837	26.49	<.0001
HC	0.4593178952	0.02056285	22.34	<.0001
CL	0.3816042915	0.02047480	18.64	<.0001
ADL	-.2708049063	0.06693009	-4.05	<.0001

Bereinigte Regressionsanalyse für Methan aus g/kg FM  
Erweiterte Weender Analyse

Die Prozedur GLM  
Kleinste-Quadrate-Mittelwerte  
Korrektur für multiple Vergleiche: Bonferroni

ART	Kons	Methan LSMEAN	LSMEAN Anzahl
Gras	Frisch	64.2704841	1
Grunland	Frisch	68.5675113	2
Nawaro	Frisch	59.7012060	3
Gras	Silo	70.0443927	4
Grunland	Silo	67.8476916	5
Mais	Silo	72.4688418	6
Nawaro	Silo	62.2132127	7

Kleinste-Quadrate-Mittelwerte für Effekt ART(Kons)  
Pr > |t| für H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Abhängige Variable: Methan

i/j	1	2	3	4	5	6	7
1		0.1209	1.0000	0.0001	0.4597	0.0122	1.0000
2	0.1209		0.0474	1.0000	1.0000	1.0000	0.0174
3	1.0000	0.0474		0.0031	0.0999	0.0006	1.0000
4	0.0001	1.0000	0.0031		1.0000	1.0000	<.0001
5	0.4597	1.0000	0.0999	1.0000		1.0000	0.0581
6	0.0122	1.0000	0.0006	1.0000	1.0000		0.0002
7	1.0000	0.0174	1.0000	<.0001	0.0581	0.0002	