



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Agrarwirtschaft
Fachgebiet Futtermittelanalytik

Studienarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

**„Untersuchungen zum Gasbildungsvermögen verschiedener
Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilagen und
Grassilagen im Vergleich zu Maissilage“**

von:

Henry Pranke

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2012 - 0306 - 0

Erstprüfer: Professorin Dr. Anke Schuldt

Zweitprüfer: Dr. Regina Dinse

Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
Abstract	8
1. Einleitung.....	9
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	9
2. Literaturteil.....	14
2.1 Biomasse im Energiesystem	14
2.2 Energiepflanzen	15
2.3 Verfahren der Biogasgewinnung	17
2.4 Einflussfaktoren auf die Biogasgewinnung	18
2.5.1 Rüben und Rübensilage.....	19
2.6 Getreide-Ganzpflanzen	22
2.6.1 Getreide-Ganzpflanzensilage.....	23
2.7 Gräser	25
2.7.1 Grassilage	25
2.8 Sortenbeschreibung	26
2.8.1 Futterrüben.....	27
2.8.2 Zuckerrüben	27
2.8.3 Gerste	28
2.9 Methoden zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials	29
2.10 Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Gras- und Getreideganzpflanzensilagen als Substrat in Biogasanlagen	29
2.11 Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten zur Biogasgewinnung nach WEISSBACH	30

3. Material und Methoden	33
3.1 Probenvor- und Probenaufbereitung der gefriergetrockneten Rübenschnitzel	34
3.2 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Futter- und Zuckerrübensilgen	35
3.3 Bestimmung von Essigsäure, Milchsäure und Ethanol in Futter- und Zuckerrübensilgen	36
3.4 Probenvorbereitung der Ganzpflanzensilage und Grassilage	37
3.5 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Ganzpflanzensilage und Grassilage	38
3.6 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Mais	40
3.7 Vergleich des Gasbildungsvermögen je Kilogramm korrigierter Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage	41
3.8 Vergleich des Gasbildungsvermögen je Hektar von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage	41
4. Ergebnisse	41
4.1 Futter- und Zuckerrüben	41
4.1.1 Trockenmassesubstanzgehalt	41
4.1.2 Rohfasergehalt	43
4.1.3 Rohaschegehalt	44
4.1.4 Fermentierbare organische Trockensubstanz	46
4.1.5 Essigsäure	47
4.1.6 Milchsäure	48
4.1.7 Ethanol	48
4.1.8 Gasbildungsvermögen je Kilogramm Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben im frischen und siliertem Zustand	49
4.1.9 Gasbildungsvermögen von frischen und silierten Futter- und Zuckerrüben bezogen auf den Hektarertrag	51
4.2 Getreideganzpflanzensilage	52
4.2.1 Trockenmassesubstanz, Rohfaser- und Rohaschegehalt	52
4.2.2 Fermentierbare organische Substanz und Gasbildungsvermögen von Getreideganzpflanzensilage	53

4.2.3 Gasbildungsvermögen je Hektar von Gersten-Ganzpflanzensilage	54
4.3 Grassilage	54
4.3.1 Gehalte und Gasbildungsvermögen bezogen auf ein Kilogramm Trockensubstanz	54
4.3.2 Gasbildungsvermögen von Grassilage bezogen auf einen Hektar.....	55
5. Vergleich des Gasbildungsvermögens	56
5.1 Vergleich des Gasbildungsvermögens im Bezug auf die Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage	56
5.2 Vergleich des Gasbildungsvermögens je Hektar von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Mais	58
6. Diskussion	59
6.1 Trockensubstanz, korrigierte Trockensubstanz, fermentierbare organische Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage und Grassilage	59
6.3 Gehalte an Ethanol, Milchsäure und Essigsäure in Futter- und Zuckerrübensilagen	61
6.4 Korrigierte Trockensubstanz, fermentierbare organische Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche von Getreideganzpflanzensilage und Grassilage .	62
6.5 Gas- und Methanbildungsvermögen von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen-, Gras- und Maissilagen im Bezug auf die Trockensubstanz und die korrigierte Trockensubstanz	63
7. Schlussfolgerung	65
8. Zusammenfassung	66
Literaturverzeichnis	68
Anhang	72
Selbstständigkeitserklärung	78

Abkürzungsverzeichnis

BMU	Bundesumweltministerium
BHKW	Blockheizkraftwerk
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ELOS	Enzymlösliche organische Substanz
EuLOS	Enzymunlösliche organische Substanz
ES	Entwicklungsstadium
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
FoTS	Fermentierbare organische Trockensubstanz
Gtoe	1 Milliarde Tonnen Rohöl-Äquivalent
ha	Hektar
HCl	Wasserstoffchlorid
kg	Kilogramm
NEL	Nettoenergie Laktation
nm	Nanometer
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
TM	Trockenmasse
TS	Trockenmassesubstanzgehalt
TS _n	Trockensubstanz - normal
TS _k	Trockensubstanz - korrigiert
t	Tonne
XA	Rohasche
XC	Rohkohlenhydrate
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
°C	Grad Celsius

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltenergieverbrauch / Weltbevölkerung bis 2050.....	9
Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland 2011	11
Abbildung 3: Strombereitstellung aus Biomasse in Deutschland 2011	11
Abbildung 4: Anzahl Biogasanlagen mit elektrisch installierter Leistung	12
Abbildung 5: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage.....	15
Abbildung 6: Durchschnittliche Biogasausbeuten verschiedener Biogassubstrate ...	16
Abbildung 7: Aufbereitung von Rüben	22
Abbildung 8: Ganzpflanzensilage aus Triticale und Grassilage	24
Abbildung 9: Grassilagebereitung im Fahrsilo	26
Abbildung 10: Gärprodukte und Flüchtigkeitsquoten von Grassilage	30
Abbildung 11: Berechnete potentielle Biogasausbeuten aus dem Gehalt der FoTS	32
Abbildung 12: Gleichungen zur Schätzung des Gehaltes an FoTS in Halm- und Körnerfrüchten.....	32
Abbildung 13: Probenvorbereitung	
Abbildung 14: Rübensilage	34
Abbildung 15: Probenmühle „Pulverisette 14“	
Abbildung 16: bearbeitete Proben	35
Abbildung 17: Probenaufbereitung der Rübensilage	37
Abbildung 18: Schlagkreuzmühlen	37
Abbildung 19: Trockensubstanzgehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben.....	42
Abbildung 20: Trockenmassegehalte der silierten Futter- und Zuckerrüben	42
Abbildung 21: Rohfasergehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben	43
Abbildung 22: Rohfasergehalt der Futter- und Zuckerrübensilage	44
Abbildung 23: Rohaschegehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben.....	45
Abbildung 24: Rohaschegehalte der silierten Futter- und Zuckerrüben.....	45
Abbildung 25: FoTS der frischen Futter- und Zuckerrüben.....	46
Abbildung 26: FoTS der Futter- und Zuckerrübensilage.....	47

Abbildung 27: Essigsäuregehalt der Futter- und Zuckerrübensilagen	47
Abbildung 28: Milchsäuregehalt der Futter- und Zuckerrübensilagen.....	48
Abbildung 29: Ethanolgehalte der Futter- und Zuckerrübensilage.....	49
Abbildung 30: Gasbildungsvermögen der frischen Futter- und Zuckerrüben.....	50
Abbildung 31: Gasbildungsvermögen der Futter- und Zuckerrübensilage.....	50
Abbildung 32: Gasbildungsvermögen der Trockenmasse je Hektar von	51
Abbildung 33: Gasbildungsvermögen je Hektar von silierten Futter- und Zuckerrüben	52
Abbildung 34: Trockenmassesubstanz, Rohfaser- und Rohaschegehalt der Gersten-GPS.....	53
Abbildung 35: FoTS und Gasbildungsvermögen der Gersten-GPS.....	53
Abbildung 36: Gasbildungsvermögen je Hektar von Gersten-GPS	54
Abbildung 37: Durchschnittliche Gehalte und Gasbildung der Grassilagen 2011	55
Abbildung 38: Gasbildungspotenzial je Hektar vom 2. - 3. Schnitt der Grassilage (2011).....	55
Abbildung 39: Durchschnittliches Gasbildungsvermögen von Futter- und Zuckerrüben,	57
Abbildung 40: Durchschnittliches Gasbildungsvermögen je Hektar von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage sowie Grassilagen im Vergleich zu Mais	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliche Trockensubstanz, Nährstoff- und FoTS-Gehalt sowie das Gasbildungspotenzial von erntefrischen / silierten Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen-, Gras- und Maissilage aus Untersuchungen der Jahre 2006 - 2011.	56
--	----

Abstract

The still rising number of biogas plants for the sake of producing energy in recent years has led to currently around 7500 plants being active in Germany. The nuclear disaster in Fukushima, Japan and the following cancellation of all nuclear development plans resulted to a rethinking in terms of energy production, and thus to a sharp rise in biogas plants being build. Since the proportion of plants not using animal-based gas dominates and the efficiency of corn turns out to be very high, cultivation of corn also took a sharp increase. To counter this, it is necessary to find alternative cultures. This study wants to find out the gas creation potential of harvest-fresh and silage forage and sugar beet, whole wheat silages and grass silages. Furthermore it is still unknown whether using beet for biogas creation is more effective with or without the leaves. Laboratory-tested forage and sugar beet, whole wheat silages and grass silages have been evaluated and compared to earlier results. Due to the usage of the equation of WIESSBACH (2008, 2009) it is possible to directly rate the capability of creating biogas and methane gas. Those calculations are based on actually fermentable dry substance. This enables one to forecast whether the usage of a certain substrate for energy production in biogas plants is feasible or not.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Durch den ernährungsphysiologischen, medizinischen und technischen Fortschritt in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts wuchs die Weltbevölkerung rasant an. Mit dem ständigen Wachstum und der Weiterentwicklung sowie der Anhebung des Lebensstandards in den Industrie- und Schwellenländern, stieg gleichzeitig die Nachfrage nach Rohstoffen und Energie. Nach einem Bericht der Vereinten Nationen (United Nations Organisations, 2007) kann in den kommenden 40 Jahren davon ausgegangen werden, dass die Weltbevölkerung um zwei Milliarden Menschen, auf dann neun Milliarden, anwächst. Eine viermal größere Weltwirtschaft wird trotz Energiesparmaßnahmen rund 80 Prozent mehr Energie verbrauchen als heute. In der nachfolgenden Abbildung 1 wird der angenommene Weltenergieverbrauch im Verhältnis zum vermuteten Weltbevölkerungswachstum bis zum Jahr 2050 dargestellt.

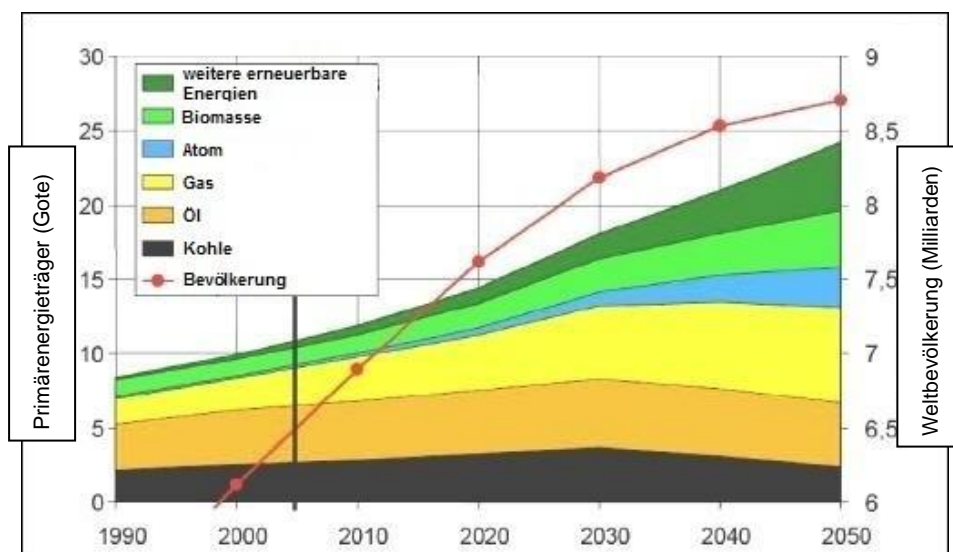


Abbildung 1: Weltenergieverbrauch / Weltbevölkerung bis 2050 (Quelle: nach Davids, 2010)

Während die Nachfrage nach Energie weltweit wächst, gehen die Vorräte an fossilen Brennstoffen, der derzeit wichtigsten Energiequelle zurück und werden vermutlich mit den herkömmlichen technischen Fördermethoden in 40 bis 60 Jahren versiegen. Eine weitere Förderung fossiler Ressourcen wäre zu diesem Zeitpunkt theoretisch noch möglich, würde aber dann durch den hohen technischen Aufwand unvorhersehbare Auswirkungen auf das ökologische Gleichgewicht der Erde mit sich

führen. Angesichts der schon vorgenommenen Eingriffe in die Natur sind zum Beispiel schon heute zukünftige Probleme des Klimawandels durch den Ausstoß von Treibhausgasen wie Methan und Kohlenstoffdioxid zu erkennen, wobei auch hier die Ausmaße noch nicht genau vorherzusagen sind. Weil vor allem die großen Schwellenländer weiter auf fossile Energieträger wie Öl und Gas setzen, wird wahrscheinlich der Ausstoß klimaschädlicher Treibhausgase trotz internationaler Vereinbarungen zunehmen. Nach Angaben der Agentur für Erneuerbare Energien (2012), wird schon heute die Hälfte der eingesetzten Energieressourcen importiert. Um dennoch gewisse Szenarien und den weltweiten CO₂ - Ausstoß zu minimieren, ist eine Abkehr von der im 20. Jahrhundert gegebenen Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, hin zu einer Ära mit erneuerbaren Energien durch die Industrieländer unausweichlich. Mit Inkrafttreten des Stromeinspeisungsgesetzes 1991 begann Deutschland erste Schritte für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Dieses Gesetz wird auch als Vorläufer des heutigen Erneuerbare Energie Gesetzes (EEG) benannt. Diesbezüglich einigten sich 2007 die europäischen Staats- und Regierungschefs, 20 % weniger Treibhausgase bis 2020 auszustoßen. Der beschlossene Atomausstieg Deutschlands bis zum Jahr 2022, der sich durch die Naturkatastrophe im März 2011 in Japan mit anschließendem Atomreaktorunfall in Fukushima vollzog, bestärkte die Bundesregierung bei ihren Zielen zur Umsetzung des EEG und zur Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern. Dies wiederum beschleunigte die „Energiewende“ und ließ den Anteil erneuerbarer Energien von 11 auf 12,2 % am Endenergieverbrauch im Jahr 2011 ansteigen. Obwohl die größte prozentuale Zunahme am Gesamtanteil der erneuerbaren Energien im Bereich der Windenergie und Photovoltaik zu verzeichnen ist, trägt die Energieerzeugung aus Biomasse, immer noch den größten Anteil dazu bei (Abbildung 2). Im Gegensatz zum Vorjahr erweiterte sich der Einsatz von Biomasse um ca. 0,3 auf 8,2 % (BMU, 2012).

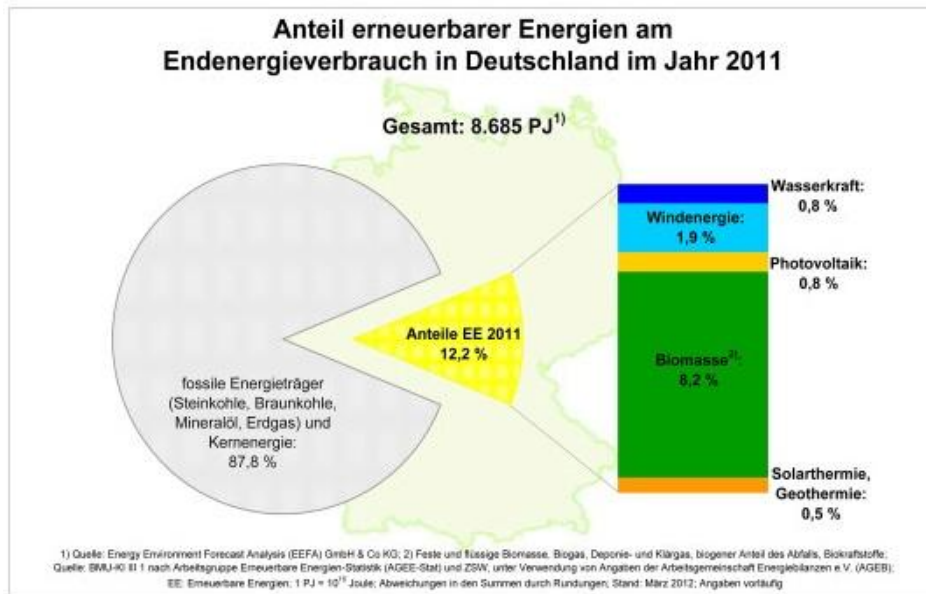


Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland 2011 (Quelle: BMU, Stand März 2012)

Damit erreichte die Biomasse 2011 einschließlich biogener Kraftstoffe einen Gesamtanteil von 67 % am Endenergieverbrauch. Neben der Wärmeerzeugung mit 13 %, nimmt mit 47,4 % die Stromerzeugung aus Biogas den wichtigsten Anteil in der Energieerzeugung aus Biomasse ein (BMU, 2012), was die nachfolgende Abbildung 3 widerspiegeln soll.

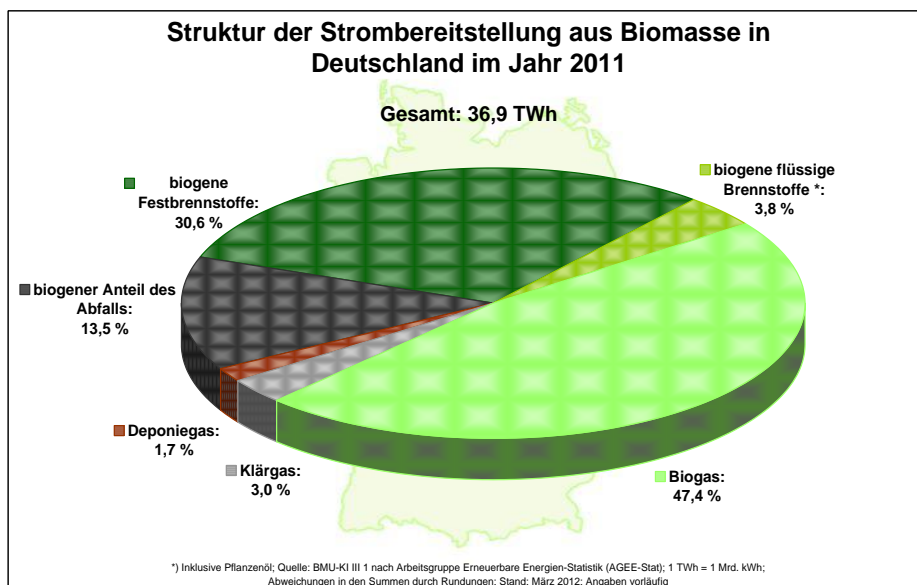


Abbildung 3: Strombereitstellung aus Biomasse in Deutschland 2011 (Quelle: BMU)

Um dem Zweck des EEG nachzukommen, verfolgt das Gesetz das Ziel, in 4 Etappen den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis 2050 auf 80 % zu erhöhen und den Bruttoenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 mit mindestens 18 %

zu decken. Das Gesetz regelt den vorrangigen Anschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien und aus Grubengas, sowie die Abnahme, Übertragung, Verteilung und Vergütung dieses Stroms durch die Netzbetreiber (EEG 2012). Die am 30. Juni 2011 beschlossene 6. Novellierung für Erneuerbare Energien in Deutschland trat am 1. Januar 2012 in Kraft. Die vorherige Novelle aus 2009 hatte zu einer intransparenten Förderstruktur, Überförderung und zu ökologischen Fehlanreizen geführt. Wie in der nachfolgenden Abbildung 4 zu erkennen ist, führte dies z.B. zu einem massiven Zuwachs von Biogasanlagen. Deshalb wurden in der Neuregelung effektive Maßnahmen beschlossen, um dem zunehmenden Maisanbau sowie anderen Nutzungskonkurrenzen entgegenzuwirken und den Belangen des Naturschutzes Rechnung zu tragen (BMU, 2012).

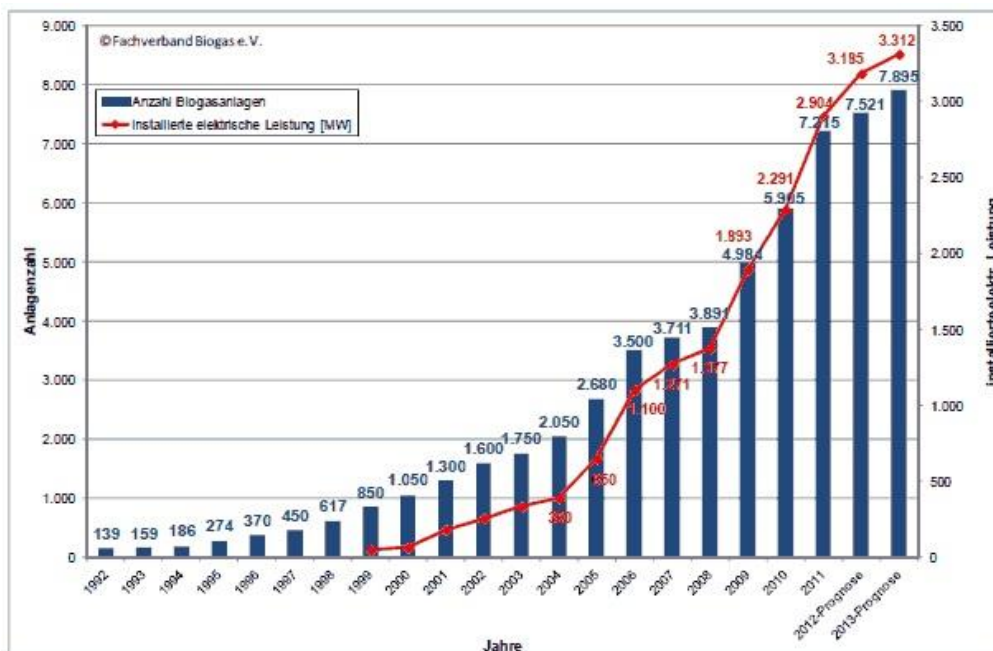


Abbildung 4: Anzahl Biogasanlagen mit elektrisch installierter Leistung
(Quelle: Fachverband Biogas e.V., 06/2012)

Somit gelten heute Mindestanforderungen, bei der eine Wärmenutzung oder der Gülleeinsatz zu 60 % bzw. eine Direktvermarktung nachgewiesen werden muss. Ebenfalls begrenzt die Neuregelung den heutigen massebezogenen Einsatz von Mais und Getreidekorn auf 60 % zur Stromgewinnung aus Biogas. Desweiteren wurde eine anteilige Ersatzstoffvergütung eingeführt, die den Einsatz von ökologisch vorteilhaften Einsatzstoffen wie z.B. Getreideganzpflanzen oder Futterrüben vereinfachen soll (EEG, 2012). Die Neuerungen gelten für Biogasanlagen, die ab dem 01.01.2012 in Betrieb genommen wurden, alle anderen Anlagen fallen unter

Bestandschutz und werden in das EEG 2009 einbezogen. Es genügt also künftig nicht mehr einfach nur Strom zu produzieren, vielmehr ist ein gewissenhafter und rentabler Einsatz von verschiedenen Substraten zur Biogasgewinnung notwendig. Durch den Einsatz verschiedener Rohstoffe fällt die Umsatzgeschwindigkeit unterschiedlich aus, was ein angepasstes Energiebereitstellungskonzept zur Folge hat. Für eine gute und bedarfsgerechte Biogaserzeugung eignen sich vor allem schnell umsetzbare, zucker- oder stärkereiche Substrate. Weil Futter- und Zuckerrüben, Getreide-Ganzpflanzensilagen (Getreide-GPS) sowie Grassilagen diese Eigenschaften aufweisen, haben die Kulturen neben der Tierernährung auch in der Verwendung für Biogas an Bedeutung zugenommen. Zusätzlich bildet ein wechselnder Anbau verschiedener Kulturen eine ausgewogene Fruchtfolge. Rüben weisen wie Mais eine sehr hohe Flächenproduktivität je Hektar auf und beinhalten eine Vielzahl leicht umsetzbarer Stoffgruppen. Getreide-GPS als Stärketräger hat einen geringeren Flächenertrag als Mais, lässt sich aber auf vielen Standorten recht effizient und kostengünstig erzeugen. Zudem kann Getreide-GPS in kühleren Lagen und in Zeiten von Frühsommertrockenheit Ertragsvorteile haben. Das Erzeugen von Grassilagen hingegen fällt regionsbezogen aus und steht dadurch in mehr oder weniger großen Mengen zu Verfügung. Dennoch ist die Biomasse von Gräsern im Dauergrünland, als Ackergras oder als Zwischenfrucht näher in den Fokus der Landwirte gerückt und könnte zukünftig mehr Verwendung in der Biogasgewinnung finden.

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist es, anhand von Laboruntersuchungen die potentiellen Biogas- und Methanerträge von verschiedenen Futter- und Zuckerrübensorten, Getreideganzpflanzen- und Grassilagen zu ermitteln. Die einzelnen Ergebnisse werden dargestellt und anschließend Ergebnissen aus vorangegangenen Untersuchungen zugeordnet. Die Gesamtergebnisse der genannten Kulturen werden denen von Maissilage gegenüber gestellt und entschieden, ob der Einsatz als Substrat für die Biogasanlage sinnvoll ist. Geklärt werden soll auch, welche Lager- und Verarbeitungsmethoden sich für die genannten Kulturen daraus ergeben.

2. Literaturteil

2.1 Biomasse im Energiesystem

Stoffe, die organischer Herkunft sind und kohlenstoffhaltige Materie bilden, werden als Biomasse bezeichnet. Sie beinhaltet die in der Natur lebende Tier- und Pflanzenwelt und die daraus entstehenden Abfall- bzw. Reststoffe. Die pflanzliche Biomasse wird durch gespeicherte Sonneneinstrahlung von autotrophen Organismen gebildet. Diese fixieren Wasser, CO_2 und die einfallende Solarstrahlung im Prozess der Photosynthese, worin sie die Energieträger Glucose und Sauerstoff bilden. Bereits abgestorbene Organismen, die noch nicht fossil sind, zählen ebenfalls zur Biomasse. Heterotrophe Organismen hingegen beziehen ihre Energie nur indirekt von der Sonne, weil sie für die Energiegewinnung, auf den Abbau pflanzlicher oder tierischer Substanz angewiesen sind. Somit wird Biomasse in Primär- und Sekundärprodukte unterteilt. Primärprodukte sind dabei diejenigen, die durch direkte Photosynthese entstanden sind. Dazu gehören in der Landwirtschaft alle Kulturen, die der Nahrungsmittel-, Futtermittel- und Energiepflanzenproduktion dienen, sowie deren pflanzliche Rückstände. Die Sekundärprodukte entstehen durch Ab- und Umbau der organischen Substanz in höheren Organismen. Hierzu gehören z.B. Festmist und Gülle (KALTSCHMITT & RAINHARD, 2009). Somit kommen als Biogassubstrat eine Vielzahl feuchter Erntegüter und Rückstände in Frage, die entweder in reiner Form oder in Gemischen (Kosubstrate) verwendet werden. Bei Pflanzen die frisch geerntet werden und länger zu Verfügung stehen sollen, hat sich die Silierung als durchgesetzt. Substrate die dagegen als Rückstände oder organische Abfälle anfallen, liegen oft in flüssiger bzw. in sehr wässriger Form vor. Durch Aufschluss der organischen Ausgangsstoffe der Biomasse lässt sich in Biogasanlagen unter anaeroben Bedingungen (Sauerstoffabschluss) mit Hilfe von verschiedenen Bakteriengruppen ein energetisch nutzbares Gas erzeugen. Dies erfolgt durch gesteuerte Gärungs- und Fäulnisprozesse. Das im sauerstofffreien Milieu entstandene Biogas, das im Wesentlichen aus Methan (CH_4) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) besteht, kann entweder in Blockheizkraftwerken (BHKW) verbrannt oder in aufbereiteter Form in das Erdgasnetz eingespeist werden. Durch das Verbrennen von Biogas im BHKW, werden Strom und Wärme erzeugt, welche auf unterschiedlichste Art und Weise genutzt werden können. Die direkte Einspeisung in das Erdgasnetz von Biogas, welches mindestens 55 % Methan

enthält, erfordert eine zusätzliche Reinigung und Aufbereitung auf ca. 95 %. Das Gas wird dann Biomethan bzw. Bioerdgas genannt (FNR, 2012). Dies ermöglicht eine Speicherung, Entnahme und energetische Nutzung an unterschiedlichsten Orten zu unterschiedlichsten Zwecken. Am Ende des Energiegewinnungsprozesses werden die ausgegorenen Substrate, zum Erhalt des Bodens der landwirtschaftlichen Nutzung zurückgeführt. Um die folgenden Themenbereiche nachvollziehen zu können, erläutert Abbildung 5 die aufgeführten Inhalte und soll die wesentlichen technischen Komponenten einer Biogasanlage aufzeigen.

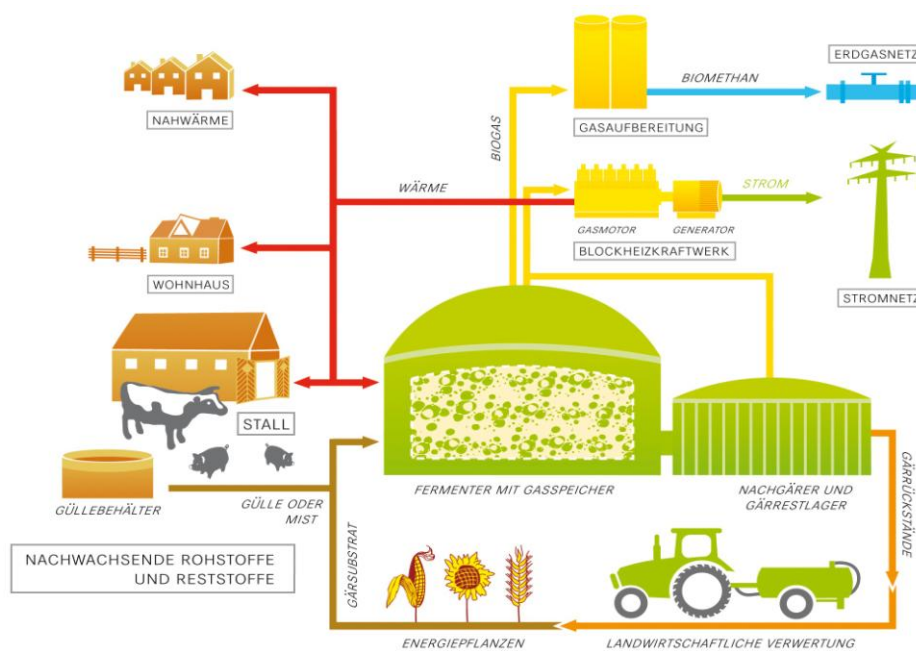


Abbildung 5: Schema einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (Quelle: FNR e.V.)

2.2 Energiepflanzen

Unter Energiepflanzen werden Pflanzen verstanden, die ausschließlich zur energetischen Nutzung produziert werden (KALLTSCHMITT, 1997). Die derzeit am meisten verbreitete und zur Anwendung kommende Energiepflanze in der Landwirtschaft ist der Mais, da er durch eine sehr hohe Biomasseproduktion gekennzeichnet ist. Mais ist eine C₄-Pflanze und kann im Vergleich zu den in Mitteleuropa heimischen C₃-Pflanzen ein höheres Massenwachstum vollziehen. Anfangs fand er wegen seiner Eigenschaften und Zusammensetzung hauptsächlich Einsatz in der Tierernährung. Weil Mais einen hohen Trockenmassegehalt und als

Substrat ein hohes Gasbildungsvermögen aufweist, änderte sich der Anbau stetig mit den Novellen des EEG und dem darauf folgenden Ausbau von Biogasanlagen. Mittlerweile ist der Maisanbau so enorm angestiegen, dass 2012 ca. 2,68 Millionen ha Ackerfläche mit Mais bestellt wurden. Im Vergleich zum Vorjahr stieg der Anbau aufgrund von „Auswinterungsschäden“ im Getreide, nochmals um 6,5 % an (DEUTSCHES MAISKOMITEE e.V., 2012). Mit dem monokulturellen Anbau von Mais steigen neben dem Schädlingsdruck die Anhäufung von Pflanzenkrankheiten, die negative Humusbelastung sowie die Skepsis der Bevölkerung. So wird z.B. seit einigen Jahren im „EVA-Projekt“ der FNR geforscht, um Kulturen zu finden, die gegenüber Energiemais konkurrenzfähig sind. Eine größere Bedeutung für die Energieerzeugung erhielten im vergangenen Zeitraum der Einsatz von Energie-Rüben, Getreideganzpflanzen und Gräsern, da diese Kulturen unter guten Bedingungen hohe Gasausbeuten erreichen können. In folgender Abbildung 6 werden von verschiedenen Substraten durchschnittliche Gaserträge in m³/t FM dargestellt, welche als Richtwerte angenommen werden können.

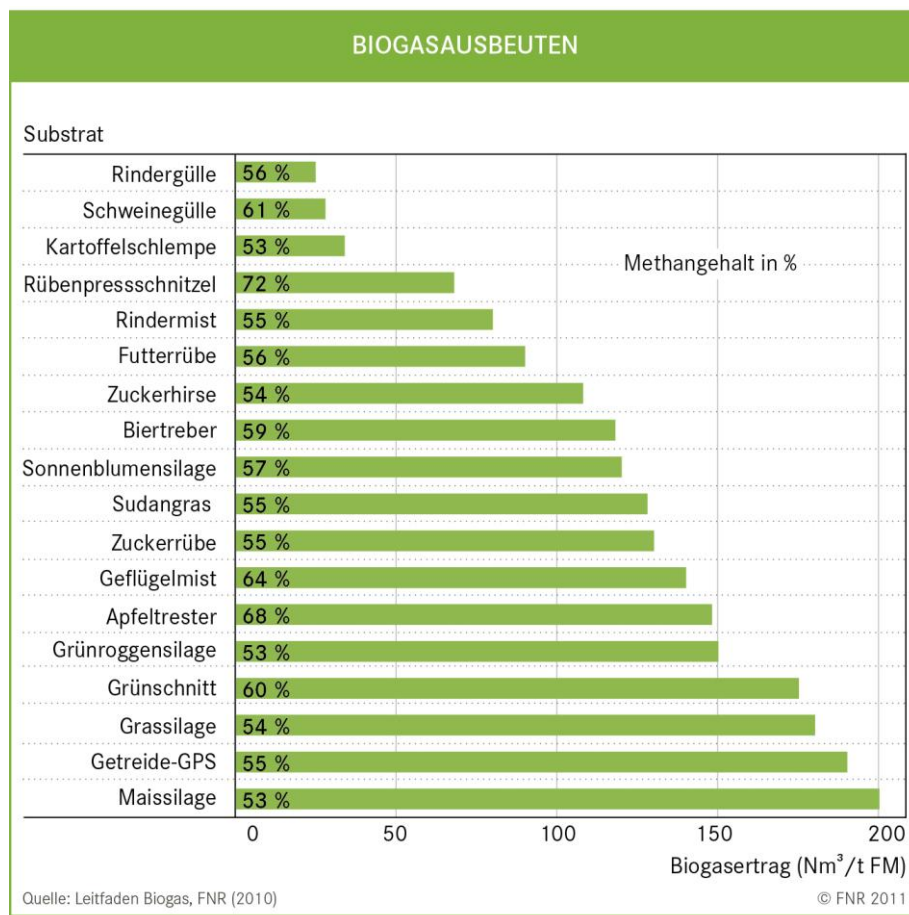


Abbildung 6: Durchschnittliche Biogasausbeuten verschiedener Biogassubstrate (Quelle: FNR, Basisdaten Bioenergie Deutschland, 2011)

2.3 Verfahren der Biogasgewinnung

Nassvergärung

Weil in vielen landwirtschaftlichen Betrieben Rinder- bzw. Schweinegülle anfällt und die dementsprechende Ausbringtechnik vorhanden ist, ist dieses Verfahren bislang die dominantere Variante der Biogasgewinnung gewesen. Bei der Nassvergärung befindet sich der Inhalt des Fermenter mit einem Trockensubstanzgehalt (TS) von 10 bis 20 % in einem fließfähigen Zustand. Um den Zustand konstant zu halten, werden Kosubstrate entweder in einer Vorgrube mit Gülle vermischt oder über einen Einfüllschacht direkt in den Fermenter gegeben. Das Verfahren der Nassvergärung kann diskontinuierlich oder kontinuierlich angewendet werden. Beim diskontinuierlichen Verfahren verbleibt das Substrat so lange im Fermenter, bis es vollständig ausgefault ist. Danach muss der Fermenter entleert und wieder aufgefüllt werden, um eine weitere Biogasproduktion zu gewährleisten. Weil dies Standzeiten für das angeschlossene BHKW mit sich führt, kommt dieses Verfahren immer weniger zum Einsatz. Beim kontinuierlichen Verfahren handelt es sich um mehrere Stationen, die das Substrat automatisch, also wie bei der Verdauung, im Durchflussprinzip durchläuft. Dies soll durch hohe Durchmischung sicherstellen, dass das Biogas ohne Unterbrechung von den Mikroorganismen hergestellt werden kann (Richey, 2010). Der in beiden Prozessen anfallende Gärrest dient als organischer Flüssigdünger und kann auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht werden.

Trockenvergärung / Feststoffvergärung

Die zunehmende Nutzung von verschiedenen Energiepflanzen, Ernterückständen und biogenen Abfällen für die Energiegewinnung aus Biogas, hat zu einem verstärkten Interesse an Verfahren zur Trockenvergärung geführt. Der Begriff der Trockenfermentation ist aber fachlich nicht unumstritten. Soweit nicht patentierte oder geschützte Verfahren explizit auf den Begriff Trockenfermentation aufbauen, wird der Begriff der Feststoffvergärung verwendet (FAL, IE, UNI ROSTOCK, 2007). Das zu vergärende Material hat einen TS-Gehalt zwischen 20 und 40 % und ist aufgrund des geringeren Wasseranteils weder pump- noch fließfähig. Das stichfeste Material wird dann z.B. mittels Förderschnecken oder mit anderen Transportvorrichtungen in den Fermenter eingebracht. Weil der anaerobe Abbauprozess nur im wässrigen Milieu stattfinden kann, muss das zugeführte Substrat bei höheren Trockenmassegehalten

befeuchtet werden. Wie schon bei der Nassvergärung, lässt sich dieses Verfahren diskontinuierlich oder kontinuierlich durchführen. Die kontinuierliche Variante ist auch hier die effizientere Form der Nutzung, da diese eine höhere Biogasausbeute unter geringerem Arbeitsaufwand ermöglicht. Im Anschluss an die Vergärung können ebenfalls die Reste dem Boden als Wirtschaftsdünger zurückgeführt werden.

2.4 Einflussfaktoren auf die Biogasgewinnung

Wie viel Biogas in einer Biogasanlage produziert wird, hängt im Wesentlichen von der Zusammensetzung der eingesetzten Substrate sowie der Anlagentechnik ab. Änderungen in der Beschickung der Fermenter sowie der Zusammensetzung oder der Menge eines Substrates führen zu Störungen im Milieu der Mikroorganismen. So kann z.B. eine rasche Umstellung von leicht umsetzbaren, kohlenhydratreichen Substraten in Verbindung mit geringen Rohfaseranteilen zum Absenken des pH-Wertes und somit zur Übersäuerung führen. Durch Entstehen von Milchsäure kann dies die umsetzenden Bakterien schädigen und zu einer Minderleistung führen. Neben der Übersäuerung, welche beim Wiederkäuer Pansenacidose genannt wird, sind die Pansenalkalose (Anstieg des pH-Wertes) und die Pansenentympanie (Fehlgärung) ebenfalls Störungen, die durch fehlerhaftes Handeln auch in Biogasanlagen auftreten können. Die Gasmengen sind aber nicht nur von der Zusammensetzung und der Menge eines jeweiligen Substrates abhängig. Es muss vor allem auf die Randbedingungen wie Faultemperatur, TS - Gehalt, Redoxpotential, Nährstoffe, Abbaubarkeit der organischen Substanz, Verweilzeit, Luft- und Lichtabschluss sowie Hemm- und Schadstoffe geachtet werden. So ist zu erklären, dass es zum Teil zu erheblichen Streuungen in der Energieausbeute für gleiche Substrate kommt (FNR, 2011).

2.5 Futter- und Zuckerrüben

In den letzten Jahren stellte sich nach der Reform der Zuckermarktordnung und den entstandenen Überschussernten die Frage, welche alternative Verwendung es zukünftig für die ertragsreiche Kultur gibt. Während die Rübe in der Tierernährung nur noch wenig Bedeutung hat, gewinnen heute moderne Futter- und Zuckerrüben für die Fütterung von landwirtschaftlichen Nutztieren, den Einsatz in Biogasanlagen und zur Herstellung von Ethanol wieder an Bedeutung. Ziel der Produktion von Rüben ist ein möglichst höherer Trockenmasseertrag bzw. Methanertrag pro Hektar gegenüber Mais, mit möglichst geringem Verschmutzungsgrad und guten mechanischen Verarbeitungseigenschaften. In diesem Zusammenhang können bei bestimmten Verfahren Futterrüben gegenüber Zuckerrüben Vorzüge haben. Rüben sind vor allem durch die schnelle Fermentierbarkeit und die gute Methanausbeute ein wertvolles Substrat geworden, was durch neue Verfahren und Techniken ermöglicht wurde. Energierüben erreichen einen Ertrag von 100 t/ha Frischmasse, mit Blatt sogar 120 t/ha Frischmasse und die Zuckerrübe rund 55 bis 90 t/ha Frischmasse mit einer Netto-Nährstoffkonzentration (NNK) von 7,5 MJ NEL/kg TM. Im Vergleich zu Mais mit rund 50 t/ha und einer NNK von 7,0 MJ NEL/kg TM haben Rüben neben einem höheren Frischmasseertrag auch einen höheren Energiewert. Der Trockenmassegehalt liegt bei der Zuckerrübe allerdings bei ca. 23 - 25%, während es bei der Futterrübe 16 - 18% sind (DILGER, 2006). Demnach ergibt sich, dass im Vergleich zu Mais oder anderen Kulturen mit einer höheren Trockenmasse, eine Mischkonservierung mit Rüben durch entstehende Sickersäfte schwieriger durchzuführen ist.

2.5.1 Rüben und Rübensilage

Bei der Konservierung von Rüben können mehrere Verfahren, sowie die Varianten mit oder ohne Blattapparat zur Anwendung kommen. Deshalb sollte vor dem Einsatz von Rüben, ein dementsprechendes Verarbeitungs- und Nutzungskonzept ausgearbeitet werden. Mit dem Blatt als zusätzliche Ertragskomponente kann ein zusätzlicher Trockenmasseertrag von etwa 70 dt TM/ha und eine weitere Steigerung des Methanertrags um bis zu 15% realisiert werden. Durch den geringeren Energiegehalt des Blattes im Vergleich zur Rübe sind jedoch meist nur kürzere

Transportentfernungen rentabel, zudem ist der bei der Lagerung nicht unerhebliche Anfall von Sickersaft zu beachten (KWS, 2009). Um Rüben zu lagern, können folgende Maßnahmen durchgeführt werden:

Lagerung in Mieten

Unter Berücksichtigung der Witterungseinflüsse ist die Bereitstellung frischer Rüben zwischen September und Februar problemlos in Mieten möglich. In den kalten Monaten ist dabei auf die Abdeckung unter Verwendung von Stroh, Silofolien oder Rübenfließ zu achten. Aufgrund von äußeren Temperaturschwankungen kann es zu Schwankungen in der Miete kommen. Um Verluste zu vermeiden, müssen diese Temperaturunterschiede möglichst ausgeglichen werden. Gegebenenfalls muss der Mietengiebel aufgedeckt werden, damit z.B. entstandene Wärme entweichen kann. Tauen die Mieten nach zunehmenden Temperaturen (Ende März) auf, sollten sie möglichst schnell verarbeitet werden. Eine darüber hinausgehende Lagerung ist nach SCHULTZ (1964) mit hohen Trockenmasseverlusten behaftet.

Silierung in Folienschläuchen und Fahrsilos

Neben der Mietenlagerung ist eine Konservierung ganzer Rüben auch in Folienschläuchen und in Fahrsilos möglich. Durch diese Verfahren wird ein Großteil des Zuckers in Essig-, Milchsäure und Ethanol umgesetzt, was die Konservierung begünstigt. Bei der Schlauchsilierung werden die Rüben durch die einbringende Technik gleichmäßig siliert und zeigen dadurch ein gutes Fermentationsverhalten. Von der Anwendung zerkleinerter Rüben im Folienschlauch ist jedoch abzuraten, weil der Schlauch durch den Austritt von Sickerwasser reißen könnte.

Beim Silieren im Fahrsilo ist auf eine gute Verteilung zu achten, da die Rüben nicht rückverdichtet werden können. So verändert sich im Laufe des Prozesses die Lagerungsdichte, was auch hier auf den Austritt von Sickersäften zurückzuführen ist. Dabei ist auf die Anwendung von Unterziehfolien zu achten. Ansonsten läuft der Silierprozess wie bei einer Gras- bzw. Maissilage ab. Damit keine Energie verloren geht, muss das entstandene Sickerwasser aufgefangen und bei der Erzeugung von Biogas dem Fermenter zugeführt werden. Bei der Anwendung des Sickersaftes ist der niedrige pH-Wert zu beachten, weil sich durch sein aggressives Verhalten spezielle Anforderungen an sämtliche Materialien ergeben (KWS, 2009). Bei der

Anwendung, Silierung und Weiterverarbeitung von Rüben, ist ebenfalls auf den Grad der Verschmutzung sowie auf den Anteil von Steinen zu achten, da dies zu Minderleistung und Schäden in der Fütterung und in der Biogasanlage führen kann.

Weitere Silierverfahren

Sollen Rüben ganzjährig zu Verfügung stehen, müssen andere Silierverfahren angewendet werden. Um das Substrat ohne weitere Mischungspartner einzusilieren, kann die Rübe entweder komplett zerkleinert als Brei in Edelstahlsilos, Lagunen oder flexiblen Tanks eingelagert werden. Eine weitere Variante für die Silagebereitung von Rüben bietet das Fahrsilo in Kombination mit anderen Energiepflanzen. Nach DEININGER (1995) bieten Mischsilagen einer Verbesserung von Gärbedingungen und verfahrenstechnischer Handhabbarkeit sowie eine Verringerung von Gärverlusten. In der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere ist die Anwendung von Mischrationen zur Verbesserung der Leistung schon lange bekannt und könnte so auf die Biogasanlage übertragen werden. Um also zukünftig der Tierfütterung und Biogasproduktion unter Verwendung spezifisch ausgewählter Substrate gleichermaßen gerecht zu werden, bieten sich für diesen Zweck die Kombination verschiedener Kulturen an. Mischsilagen können zu Gunsten der Milchviehhaltung z.B. aus Grassilage und Futterrüben sowie Maissilage und Futterrüben zusammengesetzt sein. Dies gilt auch für Zuckerrüben. Die Rüben können während der Silagebereitung in Fahrsilos, als ganze Frucht oder in gehackter Form der jeweiligen Silier-Komponente mit oder ohne Blatt zugeführt werden. Nach Aussage der KWS Saat AG werden mit Maissilagen, die aus 50 % Mais und 50 % Zuckerrüben zusammengesetzt sind, schon seit einigen Jahren gute Erfahrungen gemacht, wobei hier ein optimaler Erntetermin und eine gute Kombination von zwei verschiedenen Ernteketten gefunden werden muss, um die gewünschte Silage zu erstellen. Ein für Biogas besseres Erntefenster bietet der Mais, wenn er in Form von Lieschkolbenschrot (LKS) verarbeitet wird. LKS hat einen deutlich höheren Trockensubstanzgehalt als Maissilage und ermöglicht einen Anteil von 70 % Zuckerrüben und 30% Mais (KWS, 2009)

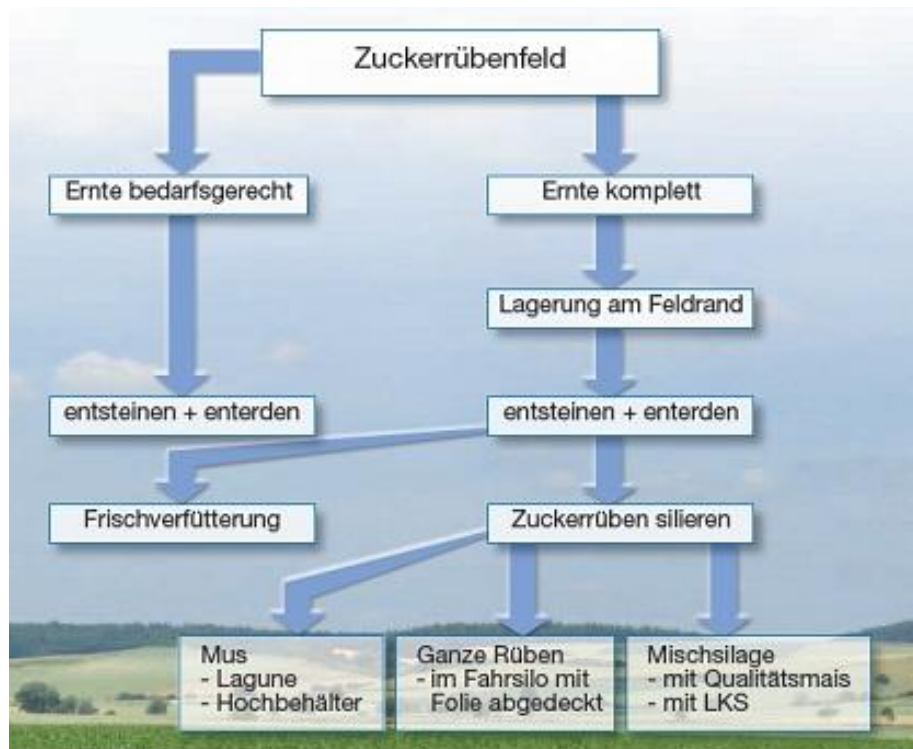


Abbildung 7: Aufbereitung von Rüben (Quelle: Syngenta Agro GmbH)

2.6 Getreide-Ganzpflanzen

Eine weitere Möglichkeit die energiereiche Maissilage in der Tierernährung und Biogasgewinnung zu ergänzen bzw. zu ersetzen, bietet die Anwendung von Getreideganzpflanzensilage. Getreide-GPS bezeichnet nach PAHL (1987) ein Verfahren der Futtergewinnung, dass nach der Vergärung der Getreidepflanze im Silo an Wiederkäuer verfüttert wird. Demzufolge bietet sich Getreide-GPS auch für den Einsatz in Biogasanlagen an. Aus klimatischen Gründen und zur Sicherung der Grundfuttermittellieferung, wird die Getreideganzpflanzensilierung in vielen Ländern schon länger praktiziert. Da Getreide-GPS aber einen geringen Flächenertrag mit höherem Stickstoffeinsatz gegenüber Mais mit sich führt, findet diese Variante aus ökonomischer Sicht weniger Anwendung. Für die Nutzung von Getreide-GPS eignet sich vorwiegend Wintergetreide. Ebenfalls können auch deren Artenmischungen genutzt werden. Weil sich die Nährstoffgehalte von Korn und Stroh sehr voneinander unterscheiden, wird der Futter- bzw. der Energiewert der jeweiligen Kultur aus dem Korn/Stroh-Verhältnis abgeleitet. Dabei muss beachtet werden, dass es Unterschiede bei verschiedenen Ernteterminen bzw. Entwicklungsstadien im Korn/Stroh-Verhältnis und der Energiekonzentration gibt. Bei der Gewinnung von

Getreide-GPS sind die höchsten Trockenmasseerträge zum Stadium der frühen Teigreife (ES 79 - 83) zu erwarten, weil dann die Pflanzen etwa eine Trockenmasse von 35 bis 45 % aufweisen. Bis zur Vollreife fallen die Trockenmasseerträge wieder. Je nach Standort, Getreideart und Ertragsniveau können unter Berücksichtigung von Ernteverlusten 9 bis 13 t/ha TM erzielt werden (PAHL, 1987). Im Vergleich zu Maissilage mit einem Ertrag bis zu 20 t/ha TM und einen Energiegehalt von ungefähr 7 MJ NEL/kg TM, kann Getreide-GPS einen durchschnittlichen Energiegehalt von ca. 5,5 MJ NEL/kg TM erreichen (DILGER, 2006).

2.6.1 Getreide-Ganzpflanzensilage

Wie schon beschrieben, ist der Schnittzeitpunkt ein wesentlicher Faktor, der den Ertrag und die Veränderungen der Inhaltsstoffe bestimmt. Wegen der auf wenige Tage bemessenen Erntezeitspanne ist im Vorhinein die Ernte und Konservierung zu planen, um im Silierungsprozess eine optimale Milchsäuregärung sicherzustellen. Damit eine Kontamination mit Hefen und Schimmelpilzen vermieden wird, bedarf es einer frühzeitigen Räumung und Reinigung der Lagerstätte. Die Ernte erfolgt wie auch beim Silomais mit dem Feldhäcksler, der nacheinander die Transporteinheiten befüllt. Entscheidend für die Silierbarkeit von Getreide-GPS sind die Häckselgutlänge und ein geringer Verschmutzungsgrad. Kurz geschnittene Silagen lassen sich besser verdichten und die Luft wird schneller aus dem Siliergut verdrängt. Für die Konservierung von Getreide-GPS werden wie bei Mais drei verschiedene Systeme angewendet:

Hochsilo

Die bauaufwändigste Variante ist hierbei das Hochsilo. Vorteile bringt die Verdichtung des Siliergutes durch Eigendruck und eine geringe Abdeckfläche, jedoch benötigt dieses System eine aufwendige Befüll- und Entnahmetechnik.

Fahrsilo

Eine weitere Variante ist das Flachsilo (Fahrsilo), welches in eingespannten Betonwänden als Erdwallsilo oder auf einer Siloplatte errichtet werden kann. Dies

beinhaltet einen höheren Platzbedarf. Dieses System ist sehr leicht zu handhaben, weil es sich leicht befüllen und entnehmen lässt.

Folienschlauch

Am kostengünstigsten und flexibelsten zur Bereitung von Getreide-GPS sind der Folienschlauch und das Folien-Fahrsilo. Weil diese keinen größeren Bauaufwand benötigen, können sie überall gebaut werden. Das Folien-Fahrsilo wird dabei wie ein Flachsilo gehandhabt. Dadurch, dass es auf allen Untergründen gebaut werden kann, entsteht ein höheres Gärrisiko.

Hinsichtlich der Siliertechnik bzw. des Verfahrens ist neben der sorgfältigen Verdichtung auch auf die Anwendung geeigneter Silierhilfsmittel zu achten, um den pH-Wert der Silage zu regulieren. Andernfalls können in Mischsilagen Kulturen zum Einsatz kommen, die sich gegenseitig ausgleichen. Nach Angaben von TRACHSLER (2011) erweist sich z.B. die Herstellung von Gersten- / Erbsen-Mischsilagen als vorteilhaft, da hier durch die Pufferwirkung keine Buttersäure gebildet wird. Zudem kann z.B. auch schwer silierbarer Grünroggen, welcher bei Herbstsilagen viel Gärstoff bildet, mit trockenem Silomais oder mit Lieschkolbenschrot gemischt werden.



Abbildung 8: Ganzpflanzensilage aus Triticale (oben) und Grassilage (Quelle: Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) - L. Maráz)

2.7 Gräser

Wegen steigender Milchleistungen und sinkender Rinderbestände entsteht europaweit seit längerem ein Überschuss an Grünland. Andererseits sind seit einigen Jahren Gräsermischungen auf dem Markt, welche verstärkt tetraploide Gräserarten enthalten. Diese Gräser werden durch die doppelte Erbinformation in jeder Pflanzenzelle als wüchsiger, ertragsreicher, energiereicher und verdaulicher beschrieben (SAATEN-UNION, 2010b). Bei steigenden Preisen für Konzentrate und zunehmender Flächenkonkurrenz zwischen Biogasanlagen und Milchproduktion um den Silomais, gewinnt die Qualität der Grassilage ebenfalls an Bedeutung. Im Vergleich zur Maissilage jedoch variiert deren Qualität sehr, sowohl innerhalb als auch zwischen den Jahren, was auf die Unterschiede im Pflanzenbestand und des zu silierenden Ausgangsmaterials zurückzuführen ist (THAYSEN, 2011). Gras in Biogasanlagen einzusetzen ist eine Möglichkeit, die gegebenen Bedingungen eines Standortes optimal auszunutzen. Durch die Vielfältigkeit von Gräsermischungen sind auf dem Dauergrünland wie auch auf dem Acker, standortbezogene TM-Erträge von 30 bis 100 dt/ha mit einem Energiegehalt von 6,5 MJ NEL/kg TM (DILGER, 2006) möglich. Standort und Sorten beeinflussen somit auch die Nutzungsdauer und die Schnittnutzungen. Ebenfalls ergibt sich für die Gewinnung von Biogas aus Gras der Vorteil, dass Grünland und Ackergrasbestände nicht anders zu führen sind, als bei der bisherigen Produktion von Milchviehfutter. Andererseits verfügt Grünland im Gegensatz zu Mais, eine positive Speicherfunktion von Kohlenstoff durch die Humusakkumulation, welche die Emissionen von Lachgas, Methan und CO₂ vermeidet.

2.7.1 Grassilage

Wie bei jeder anderen Silage ist das Siliergut möglichst verlust- und schmutzarm zu bergen, einzulagern und zu verdichten. Entscheidend für eine hohe Qualität der Grassilage ist die Erhöhung des Trockenmassegehaltes durch anwelken. Nach THAYSEN (2011) ist ein optimaler TM von 35 bis 40 % anzustreben. Grassilage kann in zwei verschiedenen Silierverfahren produziert werden. Einerseits ist wie bei der Getreide-GPS das Siloverfahren der vorab beschriebenen Systeme des Hochsilos, Flachsilos, Folien-Fahrsilos und des Folienschlauches, unter Einbringung

von Mischkomponenten möglich. Eine unter den gleichen Voraussetzungen und leicht zu handhabende andere Variante der Grassilagebereitung, ist die Silierung im Ballenverfahren. Dafür kommen Quader- und Rundballenpressen zum Einsatz, welche die Anweilsilage mechanisch verdichten und mit Stretchfolie luftdicht umwickeln. Weil die Produktion von Ballen ein „vor Ort-Herstellungssystem“ darstellt, können hier keine (bzw. nur unter sehr hohem Aufwand) Komponenten für eine Mischsilage eingebracht werden.



Abbildung 9: Grassilagebereitung im Fahrsilo (Quelle: eigenes Foto)

2.8 Sortenbeschreibung

Folgend werden die Merkmale der untersuchten Futterrüben-, Zuckerrüben-, und Gerstensorten beschrieben. Die Angaben der Zuckerrüben- und Gerstensorten basieren auf Daten der beschreibenden Sortenliste (BSL) des Bundessortenamtes, sowie Angaben der Züchter und Vertriebsunternehmen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit, lagen der deutschen BSL in der Ausgabe 2011 keine Angaben bzw. unzureichende Informationen über die Futterrübensorten „Jary“ und „Kyros“ vor und wurden daher der österreichischen beschreibenden Sortenliste 2012 entnommen.

2.8.1 Futterrüben

Jary

Die Futterrübe wird in der österreichischen beschreibenden Sortenliste als Sorte beschrieben, die auf Rizomaniastandorten sehr tolerant ist und durchschnittliche Erträge erzielt. Sie ist durchschnittlich anfällig gegen Cercospora und echtem Mehltau. Nach Angaben des Vertriebsunternehmens Saaten Union GmbH erreicht die Futterrübe, einen durchschnittlichen Blattertrag und eine Trockensubstanz von 16%.

Kyros

Die Sorte Kyros wird in der deutschen BSL als Sorte beschrieben, die leicht unterdurchschnittlich anfällig gegen Cercospora und echten Mehltau ist. Sie verfügt über mittelmäßige Trockenmasseerträge die vom Vertriebsunternehmen Saaten Union GmbH mit 16% datiert sind. Desweiteren beschreibt die österreichische BSL einen unterdurchschnittlichen Rüben- und einen guten Rübenblattertrag, mit mittelmäßiger Anfälligkeit gegen Rizomania.

Ribambelle

Für die Futterrübe Ribambelle liegen derzeit noch keine Angaben aus der BSL vor. Das Vertriebsunternehmen Saaten Union GmbH beschreibt die triploide Sorte als sehr glattschalige Rübe mit einem Trockenmassesubstanzgehalt von 17%, die besonders für rizomaniagefährdete Standorte geeignet ist.

2.8.2 Zuckerrüben

Ballade

Das Vertriebsunternehmen Strube GmbH & CO KG beschreibt die Biogasrübe als rizomaniatolerant und cercostabil. Sie zeichnet sich durch hohe bereinigte Zuckererträge und überdurchschnittlich gute Trockensubstanzgehalte aus. Sie ist am besten in den mittleren bis späten Rodebereich und die Blattgesundheit im mittleren Bereich einzuordnen.

Belladonna

Die Zuckerrübe ist laut BSL mittelmäßig anfällig für Cercospora und durchschnittlich anfällig für Mehltau. Ebenfalls durchschnittlich ist der Frischmasseertrag bei einem stärker ausgeprägten Zuckergehalt. Sie ist für alle Rodetermine geeignet, nemathoden- und rizomaniatolerant und verfügt über eine gute Blattgesundheit.

Lukas

Die Sorte Lukas verfügt gemäß BSL über eine leicht unterdurchschnittliche Anfälligkeit für Cercospora und eine stärkere für Mehltau. Der Frischmasseertrag liegt leicht über dem Mittel mit einem überdurchschnittlichen Zuckergehalt. Das Vertriebsunternehmen Strube GmbH & CO KG beschreibt die Sorte als rizomaniatollerant und stuft sie in den mittelfrühen bis späten Rodebereich ein.

Klaxon

Für die Zuckerrübe Klaxon liegen derzeit noch keine Angaben aus der BSL vor. Das Vertriebsunternehmen Syngenta Agro GmbH beschreibt die erst kürzlich freigegebene Sorte als rizomaniatolerant, mit sehr hohen Trockenmasse- und Zuckererträgen. Außerdem dient sie ausschließlich der Biogasproduktion und wird nicht für die Zuckerproduktion verwendet.

Mars

Die BSL beschreibt die Zuckerrübensorte als leicht unterdurchschnittlich anfällig gegen Cercospora und durchschnittlich anfällig gegen Mehltau. Ebenfalls verfügt die Sorte über einen hohen Frischmasseertrag mit einem durchschnittlichen Zuckergehalt. Das Vertriebsunternehmen Strube GmbH & CO KG beschreibt die Sorte ebenfalls als rezomaniatolerant.

2.8.3 Gerste

Metaxa

Nach Angaben des Vertriebsunternehmens BayWa ist die im April 2008 zugelassene zweizeilige Wintergerste mit besonders guten Resistenzen gegen Mehltau und Rhynchosporium sowie gegen Gelbmosaikvirus Typ 1 ausgestattet. Sie besitzt eine

kurze Halmlänge mit guter Standfestigkeit, vollzieht eine frühe Reife und hat hohe Ertragsleistungen.

Souleyka

Die mehrzeilige Wintergerste Souleyka wird vom Vertriebsunternehmen Saaten-Union GmbH, als eine leistungs- und ertragsstabile Kultur mit mittlerer Strohlänge ausgewiesen. Die standfeste Gerste verfügt über universelle Anbaueignungen und einer sehr guten Blattgesundheit gegenüber Mehltau bzw. Rhynchosporium. Hinzu kommt, dass sie eine gute Pflanzenentwicklung durch Winterfestigkeit und Trockentoleranz aufweist.

2.9 Methoden zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials

Das zunehmende Interesse und die damit verbundene Nutzung von Biomasse für die Erzeugung von Biogas erfordert die Entwicklung von Analyseverfahren, die die potentielle Gasausbeute des eingesetzten Pflanzenmaterials bewerten können. So sind in der Literatur unter der Nutzung der Nährstoffanalytik nach der Weender Futtermittelanalyse die Methoden nach BUSWELL und MÜLLER (1952), BASERGA (1998), CSB und TOC zu finden. WEISSBACH (2008, 2009) vollzog hierzu den aktuellsten Ansatz. Eine Schnellmethode die nach PFITZNER et. al (2010) möglichst erntezeitnah und kostengünstig das Gaspotenzial einer Kultur schätzen sollte, erwies sich wie in der Literatur dargestellt, noch als unausgereiftes Verfahren. Die dafür angedachte Methode ist die Nahinfrarot - Spektroskopie (NIRS).

2.10 Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Gras- und Getreideganzpflanzensilagen als Substrat in Biogasanlagen

Bei der Trocknung von Silagen gehen zur Bestimmung ihrer TS im Trockenschrank Gärsäuren und Alkohole (flüchtige organische Substanzen) verloren und müssen daher nachträglich korrigiert werden. Um eine Korrektur der Trockensubstanz an der jeweiligen Kultur durchzuführen, müssen die flüchtigen Gärprodukte bekannt sein, die unter bestimmten Bedingungen verdampfen. Hierzu können die Studien nach BERG & WEISSBACH (1976) und MUNKENGELE & OECHSNER (2007)

hinzugezogen werden. Grassilagen können, so wie auch Maissilagen, beträchtliche Mengen an flüchtigen organischen Verbindungen enthalten, denen ein Gasbildungspotenzial zukommt und die deshalb bei der Messung der Gasausbeute nicht vernachlässigt werden dürfen (WEISSBACH 2008a). Von besonderer Bedeutung sind die in Abbildung 10 dargestellten flüchtigen Säuren Essigsäure, Buttersäure, Ethanol, usw. Geringere Bedeutung haben Propanol und Butanol, weil diese seltener und in geringerer Konzentration in Maissilagen vorhanden sind.

	Häufigkeit in %*	Konzentration in der Silage in g kg ⁻¹ FM			Flüchtigkeitsquote in %	
		Mittel- wert	Spann- weite	Standard- abweichung	Mittel- wert	Standard- abweichung
Säuren:						
Essigsäure	100	8,27	2,53 ... 20,67	3,38	78	7
Propionsäure	100	0,45	0,05 ... 6,89	0,68	78	15
Isobuttersäure	63	0,19	0 ... 1,41	0,27	84	9
Buttersäure	91	2,06	0 ... 17,02	3,20	88	13
Isovaleriansäure	98	0,36	0 ... 3,31	0,39	71	13
Valeriansäure	55	0,10	0 ... 1,48	0,21	93	11
Capronsäure	68	0,19	0 ... 3,03	0,44	92	12
Milchsäure	100	14,63	1,06 ... 34,10	7,50	10	6
Alkohole:						
Ethanol	100	2,50	0,16 ... 23,59	3,04	99	2
Propanol	49	0,20	0 ... 4,70	0,57	100	0
Butanol	14	0,01	0 ... 0,20	0,03	100	0
1,2-Propandiol	70	0,60	0 ... 8,12	1,15	77	17
2,3-Butandiol	80	0,26	0 ... 2,62	0,39	87	14

* Anteil der Proben mit einem Gehalt des jeweiligen Stoffes von $\geq 0,05$ g kg⁻¹FM

Abbildung 10: Gärprodukte und Flüchtigkeitsquoten von Grassilage (n=182)
(Quelle: WEISSBACH 2008a)

2.11 Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten zur Biogasgewinnung nach WEISSBACH

Zur Berechnung und Untersuchung der erwarteten Gasausbeute einzelner Substrate, diente bisher vielfach die Methode der kompletten Weender Futtermittelanalyse mit dem Einbeziehen von Verdauungsquotienten, die aus der DLG Futterwerttabelle für Wiederkäuer entnommen wurden. Für ein Gasbildungsergebnis wurden die Angaben mit den Gasbildungswerten von BASERGA (1998) multipliziert, welche sich jedoch als ungünstig erwiesen. In welcher Menge und in welchem Verhältnis im biochemischen Prozess CH₄ und CO₂ entstehen, hängt vom Oxidationszustand des enthaltenden Kohlenstoffs ab und lässt sich mit der Summenformel der jeweiligen Verbindung berechnen (WEISSBACH, 2009). Den Voraussetzungen zur Erstellung von Berechnungen zur potenziellen Gasausbeute, auf der Basis der Gehalte an wahr

verdaulichen Nährstoffen, dienten eine Vielzahl von Verdauungsversuchen in der Tierernährung von WEISSBACH (1991, 1999) an Schafen. Bezieht man sich bei der Biogasausbeute auf die FoTS, so kann festgestellt werden, dass bei vielen Arten pflanzlicher Biomasse die berechneten Erwartungswerte identisch sind. Ursache dafür ist laut WEISSBACH (2009), dass der überwiegende Teil der fermentierbaren Stoffe aus Kohlenhydraten besteht. So zeigt sich ebenfalls bei den wichtigsten bisher zur Biogasgewinnung genutzten Halm- und Körnerfrüchten, dass diese unabhängig von ihrem Gehalt an Rohkohlenhydrate (XC), Rohfett (XL) und Rohprotein (XP), die Bildung von etwa 800 Litern Biogas (0,800 FoTS g/kg TS) mit etwa 420 Litern Methan (0,420 FoTS g/kg TS) je kg FoTS ermöglichen. Zusätzlich nahm WEISSBACH die Absicherung der vorgeschlagenen Gasausbeuten je kg FoTS mit stöchiometrischen Berechnungen nach BUSWELL und MÜLLER (1952) sowie BOYLE (1976) vor. Die Anwendung der Gleichungen beschränkte sich dabei nur auf den anaerob fermentierbaren Anteil der jeweiligen Nährstoffe. Zusätzlich sind die theoretischen Gasmengen generell um 5 % vermindert worden, um den Substratverbrauch für die bakterielle Biomasseneubildung auszugleichen. Die einzigen Ernteprodukte, bei denen weder mit XF noch mit anderen Faserfraktionen (NDF, ADF oder ADL) eine hinreichende Genauigkeit erreicht wurde, sind die verschiedenartigen Grasaufwüchse. Deshalb sollte nach WEISSBACH bei allen Gräsern und Grassilagen die Schätzung der FoTS über den „Gehalt an Enzymunlöslicher organischer Substanz“ (EulOS) bevorzugt werden. Eul-OS wird als der organische Rückstand bezeichnet, der nach Hydrolyse mit Pepsin und Cellulase zurück bleibt. Er wird in g je kg TS angegeben und kann im gleichen Verhältnis zu XF verstanden werden, nur dass hier die Hydrolyse nicht durch Kochen in Säure und Lauge, sondern durch Behandlung mit Verdauungsenzymen bei 40 °C erfolgt (WEISSBACH 2008b).

Substrate	Gehalt in g je kg TS		FQ (FoTS/oTS)	Biogas		Methan	
	oTS	FoTS		I _N je kg		I _N je kg	
				oTS	FoTS	oTS	FoTS
Konzentrate:							
Maiskorn	980	950	0,97	756	780	402	415
Weizenkorn	981	933	0,95	749	788	399	419
Zuckerrüben, frisch	953	908	0,95	750	787	384	403
Ganzpflanzen:							
Maisganzpflanzen, gut	950	763	0,80	638	794	335	417
Maisganzpflanzen, mäßig	950	744	0,78	622	794	327	418
Weizenganzpflanzen, gut	940	671	0,71	567	794	299	419
Weizenganzpflanzen, mäßig	923	632	0,68	543	793	288	421
Grünschnittpflanzen:							
Grünroggen	894	766	0,86	670	782	364	424
Intensivgras	889	762	0,86	672	783	368	429
Luzerne	882	642	0,73	567	779	319	438
Extensivgras	913	507	0,56	437	787	240	432
Getreidestroh:							
Gerstenstroh	941	530	0,56	448	796	231	409
Weizenstroh	922	493	0,53	425	795	220	412
Mittelwert	932	715	0,77	603	789	321	420
Standardabweichung	32	155	0,15	118	6	63	9
Variationskoeffizient [%]				20	1	20	2

Abbildung 11: Berechnete potentielle Biogasausbeuten aus dem Gehalt der FoTS
(Quelle: Beiträge des IBZ Hohen Luckow e.V., 18 (2011) 1)

Alle folgenden Gleichungen aus Abbildung 12 gelten sowohl für das jeweilige frische Erntegut, als auch für Silagen oder schonend getrocknetes Material. Voraussetzung für die Anwendung der Gleichungen ist allerdings, dass ihr TS-Gehalt auf flüchtige Gärprodukte korrigierte wurde.

Substrate	Schätzgleichungen für FoTS [g je kg TS]
Getreide und Getreidekornsilagen:	
Weizen, Roggen	$FoTS = 990 - (XA) - 1,89 (XF)$
Gerste, Hafer	$FoTS = 991 - (XA) - 1,38 (XF)$
Getreide insgesamt	$FoTS = 991 - (XA) - 1,53 (XF)$
Maisganzpflanzen, Lieschkolben und Maiskorn sowie daraus hergestellt Silagen:	
	$FoTS = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2$
Getreideganzpflanzensilagen:	
Weizen, Triticale	$FoTS = 982 - (XA) - 0,53 (XF) - 0,00102 (XF)^2$
Roggen	$FoTS = 983 - (XA) - 0,82 (XF) - 0,00022 (XF)^2$
Gerste	$FoTS = 981 - (XA) - 0,81 (XF) - 0,00006 (XF)^2$
Andere Grünfütterarten sowie daraus hergestellte Silagen:	
Grünroggen	$FoTS = 975 - (XA) + 0,23 (XF) - 0,00230 (XF)^2$
Grünhafer	$FoTS = 976 - (XA) + 0,30 (XF) - 0,00297 (XF)^2$
Luzerne	$FoTS = 971 - (XA) - 0,41 (XF) - 0,00101 (XF)^2$
Gras, intensive Nutzung (nur 1. und 2. Aufwuchs)	$FoTS = 969 - (XA) + 0,26 (XF) - 0,00300 (XF)^2$
Gras, alle Intensitätsstufen und Aufwüchse	$FoTS = 1000 - (XA) - 0,62 (EulOS) - 0,000221 (EulOS)^2$

Abbildung 12: Gleichungen zur Schätzung des Gehaltes an FoTS in Halm- und Körnerfrüchten
(Quelle: Beiträge des IBZ Hohen Luckow e.V., 18 (2011) 1)

3. Material und Methoden

Für die Ermittlung des Gasbildungsvermögens standen der Untersuchung drei Futterrüben- und fünf Zuckerrübensorten zu Verfügung. Diese wurden in Form von frischem und siliertem Untersuchungsmaterial, sowie in den Varianten mit und ohne Blatt angefertigt.

a. Futterrüben: Jary, Kyros und Ribambelle

b. Zuckerrüben: Ballade, Belladonna, Lukas, Klaxon und Mars

Um einen Vergleich zu den verwendeten Rüben zu erhalten, konnten Untersuchungsergebnisse aus dem Jahr 2010 hinzugezogen werden. Bei den für die Versuchsreihe im Jahr 2011 verwendeten Grassilagen handelt es sich um verschiedene Grünland-Proben vom 2. und 3. Schnitt mehrerer Betriebe aus der Umgebung von Neubrandenburg und Güstrow in Mecklenburg-Vorpommern. Für einen Vergleich zum Gasbildungsvermögen von Mais kamen hier Ergebnisse von Untersuchungen aus den Jahren 2008-10 vom 1. bis 3. Schnitt zur Anwendung. Für die Bestimmung des Gasbildungsvermögens von Getreideganzpflanzen dienten Prüfberichte aus den Jahren 2008-11, sowie eigens im Labor erhobene Ergebnisse von zwei Gerstensorten bzw. dessen Silage.

a. Gerste: Metaxa und Souleyka

Zur Gegenüberstellung und Ermittlung des Gasbildungsvermögens von Maissilagen, wurden 77 Ergebnisse herangezogen, die aus Untersuchungen und Attesten der Jahre 2006 bis 2011 hervorgehen. Um von den Proben der Futter- und Zuckerrüben (frisch/siliert), der Getreideganzpflanzen- und Grassilage möglichst genaue Werte zu erhalten, wurden zur Ermittlung der Inhaltsstoffe jeweils Doppelbestimmungen herangezogen. Danach erfolgte bei dem silierten Material eine Korrektur der TS und der Roh Nährstoffe nach WEISSBACH (2008a-d). Für einen Vergleich wurden die Ergebnisse addiert und anschließend der Mittelwert gebildet. Durch die Verarbeitung der vorliegenden Daten (siehe Anhang) mit dem Computerprogramm Microsoft Excel, konnte jeweils das Gasbildungsvermögen je kg TS bestimmt und anschließend verglichen werden. Für einen Vergleich einer möglichen Biogasbildung je Hektar kamen Frischmasseerträge der landwirtschaftlichen Fachbehörde M-V (2007) und Angaben nach DILGER (2006) zum Einsatz. Dabei beruhen die Daten auf Erträge, die in durchschnittlichen Jahren erzielt werden können.

3.1 Probenvor- und Probenaufbereitung der gefriergetrockneten Rübenschnitzel

Zur Gewinnung von frischem Probematerial und dessen Silage, wurden die Rüben am 11.10.2011 mit der Hand gerodet und am selben Tag unter dem bekannten Verfahren nach WENDT (2011) verarbeitet. Durch den Einsatz einer Handfuttermühle, wurden Rübenschnitzel mit und ohne Blatt hergestellt. Frisches Material wurde entnommen und auf Edelstahlplatten wie in Abbildung 13 abgefüllt und vorerst bis zum Tag der Gefriertrocknung eingefroren. Rübenschnitzel für die Silierung wurden in mehre Einweckgläser (Abbildung 14) abgefüllt und in einem abgedunkelten Raum, ca. 5¹/₂ Monate unter regelmäßiger Kontrolle eingelagert. Durch Zurückwiegen wurde der Silierverlust ermittelt und anschließend aus drei Gläsern einer Variante eine Mischprobe hergestellt. Anschließend wurde das Material auch auf Edelstahlplatten aufgebracht und für den Gefriertrocknungsprozess eingefroren.



Abbildung 13: Probenvorbereitung



Abbildung 14: Rübensilage

Nach der Gefriertrocknung wurde das grobe Material mit der Probenmühle „Pulverisette 14“ (Abbildung 15) auf eine Korngröße von 1mm zerkleinert und zur anschließenden Aufbewahrung in Gläser (Abbildung 16) umgefüllt.



Abbildung 15: Probenmühle „Pulverisette 14“



Abbildung 16: bearbeitete Proben

3.2 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Futter- und Zuckerrübensilgen

Trockenmassesubstanz

Weil es für die TS-Bestimmung von Rübensilage noch keine Standards gibt, bedarf diese einer gesonderten Behandlung. Die Proben wurden in hohen Bechern im Trockenschrank bei 60 °C ca. 24 Stunden vorgetrocknet und anschließend 3 Stunden bei 105 °C nachgetrocknet. Durch eine Differenzwägung konnte der prozentuale Trockensubstanzanteil nach folgender Gleichung ermittelt werden.

$$TS_n = \frac{(m_3 + m_1)}{(m_2)}$$

Dabei ist: m_1 = Leermasse der Becher in g

m_2 = Probeneinwaage in g

m_3 = Masse der Becher und Probe nach der Trocknung in g

Um die bei der Trocknung entweichenden Gärssäuren zu berücksichtigen, wurde der ermittelte Trockensubstanzanteil (TS_n) in eine Korrekturformel nach WEISSBACH (2008d) eingesetzt und nach der folgenden Schätzformel die korrigierte Trockensubstanz (TS_k) berechnet.

$$TS_k = TS_n + 0,95 \text{ NFS} + 0,08 \text{ MS} + 1,00 \text{ AL}$$

dabei ist: NFS = Summe der Gehalte an niederen Fettsäuren

MS = Gehalt an Milchsäure

AL = Summe der Gehalte aller Alkohole

Rohfaser- und Rohaschegehalt

Die Ermittlung der Rohfaser- und Rohaschegehalte wurden ebenfalls anhand der Weender-Futtermittelanalyse ermittelt. Weil die Rohnährstoffe eine Trockenmasse bezogene Größe darstellen, mussten auch diese nach WEISSBACH (2008d) korrigiert werden. Mit der vorherigen Berechnung des Quotienten aus TS_n und TS_k , konnten die Werte anschließend durch folgende Formel ermittelt werden.

$$XF_{\text{korrr}} = XF * TS_n / TS_k$$

$$XA_{\text{korrr}} = XA * TS_n / TS_k$$

Fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS)

Die fermentierbare organische Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben in frischer und siliierter Form, wurde mittels folgender Schätzformel nach WEISSBACH (2008d) ermittelt.

$$\text{FoTS} = 991 - (XA_{\text{korrr}}) - 0,70 (XF_{\text{korrr}})$$

Dementsprechend lassen sich die Gehaltswerte an FoTS von Rüben, nach folgender Gleichung in die potenziellen Gasausbeuten umrechnen

$$\text{Biogas} = 0,750 \text{ FoTS} + 0,18 \text{ AL}$$

$$\text{Methan} = 0,375 \text{ FoTS} + 0,32 \text{ AL}$$

3.3 Bestimmung von Essigsäure, Milchsäure und Ethanol in Futter- und Zuckerrübensilagen

Nach dem Anfertigen einer Mischprobe der gleichen Sorten aus den Gläsern, wurden verschiedene Probenmengen für unterschiedliche Analysen entnommen (Abbildung 17). Für die Bestimmung von Essigsäure, Milchsäure und Ethanol, wurden 100 g der Rübensilage in einem Maßkolben mit destilliertem Wasser auf 1000 ml aufgefüllt. Die Probe verblieb ca. 12 Stunden darin und wurde anschließend gefiltert und dessen Extrakt in Probeflaschen abgefüllt. Mit dem Testsets von r-biopharm (Best.-Nr.10 148 261 035 für Essigsäure, Best.-Nr.10 139 084 035 für Milchsäure und Best.-Nr. 10 176 0290 035 für Ethanol), konnte das jeweilige angefertigte Extrakt der Rübensilagen durch die Zugabe von Enzymen und

Koenzymen umgesetzt werden. Durch ein Photometer wurde anschließend das reduzierte Koenzym gemessen und auf die zu bestimmenden Stoffe umgerechnet.



Abbildung 17: Probenaufbereitung der Rübensilage

3.4 Probenvorbereitung der Ganzpflanzensilage und Grassilage

Die verwendeten Gerstenganzpflanzen- und Grassilagen wurden mit einer Probenmenge von 500 g im Trockenschrank (ohne Vortrocknung) schonend nach der Weender-Futtermittelanalyse getrocknet. Für die weitere Analytik wurden die Proben in zwei Schlagkreuzmühlen (Abbildung 18) von ihrer groben Zusammensetzung auf eine Korngröße von 1 mm zerkleinert. Zur weiteren Analyse der Rohfaser, Rohasche und der Enzymunlöslichen organischen Substanz (Eulos), wurden die gemahlen Proben in Gläsern (Abbildung 16) aufbewahrt.



Abbildung 18: Schlagkreuzmühlen

3.5 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Ganzpflanzensilage und Grassilage

Trockensubstanzgehalt

Unter Anwendung der vorgeschriebenen Gärproduktanalyse im Trockenschrank ist mit dem gemessenen TS-Gehalt (TS_n) von GPS und Grassilagen, in folgender Schätzformel nach WEISSBACH (2008a) in den korrigierten TS-Gehalt (TS_k) umzurechnen.

$$TS_k = TS_n + 0,99 \text{ NFS} + 0,08 \text{ MS} + 0,77 \text{ PD} + 0,87 \text{ BD} + 1,00 \text{ AA}$$

Dabei ist: NFS = Summe der Gehalte an niederen Fettsäuren
MS = Gehalt an Milchsäure
PD = Gehalt an 1,2-Propandiol
BD = Gehalt an 2,3-Butandiol
AA = Summe der Gehalte an anderen Alkoholen

Ist eine ausführliche Analyse der flüchtigen Gärprodukte jedoch nicht möglich, kann auf eine vereinfachte weitere Schätzformel zurückgegriffen werden, welche wie auch schon bei Mais- und Rübensilagen Näherungswerte (WEISSBACH 2009, 2011) angibt. Sie lautet:

$$TS_k = 26,2 + 0,970 TS_n$$

Im Zusammenhang mit der kürzeren Variante der Schätzformel, sind alle auf die TS bezogenen Gehaltsangaben zu korrigieren. Die in der Probe gemessenen und üblicherweise auf TS_n bezogenen Kenngrößen (XA, XP, XL, usw.) müssen durch Multiplikation mit dem Quotienten aus TS_k und TS_n korrigiert werden. Alle Differenzfraktionen (oTS bzw. OM, NFE, Hemicellulosen, Cellulose usw.) müssen dagegen stets mit Hilfe der auf TS_k bezogenen Messgrößen neu berechnet werden (WEISSBACH 2009, 2011).

Rohfaser- und Rohaschegehalt

Der Rohfaser- und Rohaschegehalt wurde wie bei Rüben (Kapitel 3.2) ermittelt.

Fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS) von Gerste

Die Ermittlung der FoTS für Gerste basiert auf die folgende Schätzformel nach WEISSBACH (2009).

$$\text{FoTS} = 981 - (X_{A_{\text{korrr}}}) - 0,81 (X_{F_{\text{korrr}}}) - 0,00006 (X_{F_{\text{korrr}}})^2$$

Enzymunlösbaren organische Substanz (EulOS)

Die Methode zur Bestimmung von EulOS bzw. EIOS stammt aus der Futtermittelanalytik und dient der Ermittlung der Cellulaseverdaulichkeit bezüglich der lösbaren bzw. unlösbaren organischen Substanz.

Zunächst wurde 0,3 g der jeweiligen zermahlenden Grassilageprobe (1 mm), in eine Fritte auf 0,001 g genau eingewogen und anschließend in einem Becherglas, mit 30 ml auf 40 °C vorgewärmter Pepsin-HCl-Lösung übergossen. Um die Reaktion aufrecht zu erhalten, wurde das Becherglas mit einem Parafilm abgedeckt, 24 Stunden bei 40 °C in einem Wärmeschrank aufbewahrt und zwischenzeitlich umgerührt. Unter Wiederholung folgten mehrere Wasserbäder des Becherglases mit Fritte sowie das waschen und trocken der Rückstände. Anschließend erfolgte der Prozess nochmals mittels einer vorgewärmten Acetatpuffer-Cellulase-Lösung. Nach einer weiteren Spülung, Trocknung und Abkühlung erfolgte die Rückwaage des Frittenrückstandes. Dieser Rückstand wurde dann 1¹/₂ Stunden bei 550 °C im Muffelofen verascht und nochmals zurückgewogen.

Unter Einbezug der folgenden Schätzgleichungen lässt sich die Verdaulichkeit der organischen Substanz (v OS) berechnen. Zusätzlich muss die organische Substanz eines Substrates über eine Rohaschebestimmung ermittelt werden.

$$\text{EULOS} = \frac{(W_2 - W_3) \times 100}{W_1 \times \text{TM}}$$

Dabei ist: W_1 = Probeneinwaage in g

W_2 = Gewicht der Fritte incl. des Rückstands nach der Trocknung in g

W_3 = Gewicht der Fritte incl. des Rückstands nach der Veraschung in g

TM = % Trockenmasse in der Probe

Fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS) von Grassilage

Für die Ermittlung der FoTS aller Grasaufwüchse muss wie in Kapitel 2.11 beschrieben, nach WEISSBACH (2009) zusätzlich der erhobene Wert der EulOS einbezogen werden und basiert daher auf folgende Schätzformel.

$$\text{FoTS} = 1000 - (\text{XA}) - 0,62 (\text{EulOS}) - 0,000221 (\text{EulOS})^2$$

Dementsprechend lassen sich die Gehaltswerte an FoTS von Halm- und Körnerfrüchten, nach folgender Gleichung in die potenziellen Gasausbeuten umrechnen (WEISSBACH 2009, 2011).

$$\text{Biogas} = 0,750 \text{ FoTS} + 0,18 \text{ AL}$$

$$\text{Methan} = 0,375 \text{ FoTS} + 0,32 \text{ AL}$$

3.6 Bestimmung der Inhaltsstoffe von Mais

Um einen Vergleich des Gasbildungsvermögens von Mais zu den anderen Kulturen erhalten zu können, wurden die benötigten Werte aus den zuvor genannten Untersuchungen und Attesten entnommen. Auch hier erfolgten die Korrektur der Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche, sowie die Berechnung der FoTS und des möglichen Gasertrages, über die folgenden Schätzformeln nach WEISSBACH (2008b / 2008c). Für einen Direktvergleich wurde anschließend der Mittelwert der jeweiligen Ergebnisse gebildet.

- $\text{TS}_k = 24,5 + 0,980 \text{ TS}_n$
- $\text{XF}_{\text{korr}} = \text{XF} * \text{TS}_n / \text{TS}_k$,
- $\text{XA}_{\text{korr}} = \text{XA} * \text{TS}_n / \text{TS}_k$
- $\text{FoTS} = 984 - (\text{XA}) - 0,47 (\text{XF}) - 0,00104 (\text{XF})^2$
- $\text{Biogas} = 0,800 \text{ FoTS}$
- $\text{Methan} = 0,420 \text{ FoTS}$

3.7 Vergleich des Gasbildungsvermögen je Kilogramm korrigierter Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage

Um im späteren Verlauf die verschiedenen Kulturen miteinander vergleichen zu können, wurden aus vorangegangenen Untersuchungen der Vorjahre 2006 bis 2011 und den eigenen Versuchswerten, Durchschnittswerte gebildet (Kapitel 5.2).

3.8 Vergleich des Gasbildungsvermögen je Hektar von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage

Zur Bestimmung des Gasbildungsvermögens je Hektar dienten für Futter- und Zuckerrüben, GPS und Grassilage ausgewählte Frischmasseerträge die in Kapitel 4.1.9, 4.2.3 und 4.3.2 näher beschrieben werden. Um das durchschnittliche Gasbildungspotenzial von Rüben in dieser Untersuchung zu stützen, wurden Ergebnisse aus dem Jahr 2010 hinzugezogen und mit Angaben aus Kapitel 4.1.9 verrechnet. Die verwendeten Angaben spiegeln Ertragserwartungen der Frischmasse unter zugeordneten Düngergaben wieder, die in durchschnittlichen Jahren in Mecklenburg Vorpommern erzielt werden können. Für die Ermittlung des Gasbildungsvermögens von Mais, wurde nach Angaben der landwirtschaftlichen Fachbehörde M-V (2007) ein Frischmasseertrag von 40 Tonnen je Hektar angenommen und ebenfalls mit Untersuchungsergebnissen der Vorjahre verrechnet.

4. Ergebnisse

4.1 Futter- und Zuckerrüben

4.1.1 Trockenmassesubstanzgehalt

Aus Abbildung 19 wird deutlich, dass frische Futterrüben einen Trockenmassegehalt zwischen 150 - 160 g/kg FM erreichen. Dabei fallen die Trockenmassen der Varianten ohne und mit Blatt fast gleich aus bzw. unterscheiden sich mit weniger als 10 g/kg FM. Ein ähnliches Verhalten weist auch die Zuckerrübe Klaxon auf. Unter den Futterrüben hat Jary ohne Blatt mit 162 g/kg FM und mit Blatt 154 g/kg FM, den höchsten Trockenmassegehalt. Gegenüber Klaxon erreichen die Zuckerrübensorten

ohne Blatt Trockenmassen zwischen 220 - 240 und mit Blatt 190 - 220 g/kg FM. Die Zuckerrübe Lukas ohne Blatt mit 240 g/kg FM und die Zuckerrübe Mars mit 222 g/kg FM mit Blatt verfügen über den höchsten Trockenmassesubstanzgehalt.

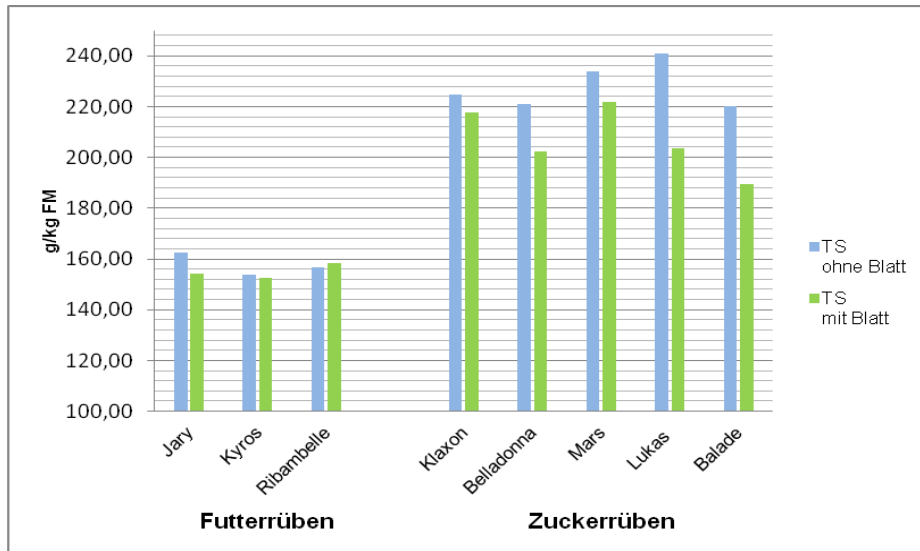


Abbildung 19: Trockensubstanzgehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben

Abbildung 20 zeigt die silierten Rüben. Bei den Futterrüben wird eine Steigerung der Trockensubstanz ersichtlich, welche bei der Variante ohne Blatt zwischen 200 bis 210 g/kg zu verzeichnen ist. Dabei erreicht die Futterrübe Kyros in beiden Varianten eine korrigierte TS von 213 g/kg FM. Bei den Zuckerrübensilagen ohne Blatt ergeben sich Trockensubstanzen zwischen 200 - 250 g/kg FM, wobei die Sorte Mars mit ca. 256 g/kg FM den höchsten Wert erreicht. In der Variante mit Blatt verzeichnet die Sorte Lukas mit 211 g/kg FM, die höchste Trockensubstanz.

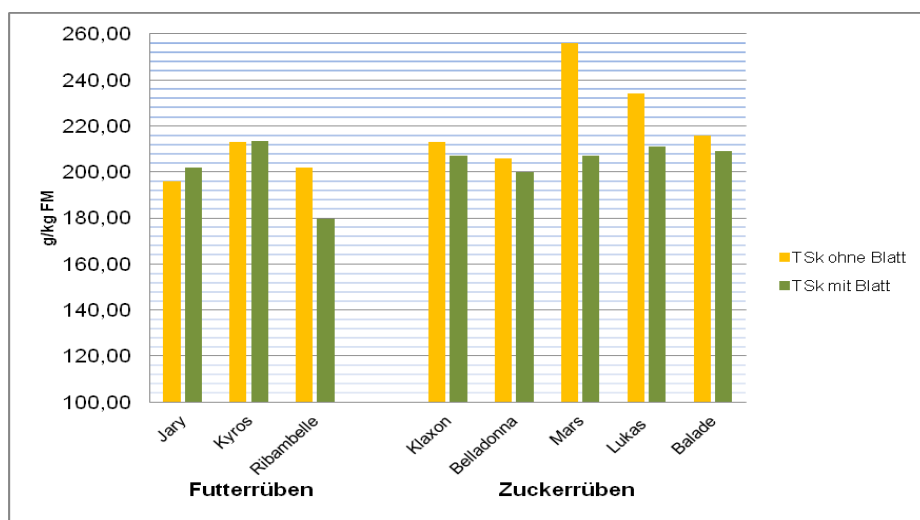


Abbildung 20: Trockenmassegehalte der silierten Futter- und Zuckerrüben

4.1.2 Rohfasergehalt

Bei den in Abbildung 21 aufgeführten Futterrüben ist festzustellen, dass die Gehalte an Rohfaser in den Varianten mit und ohne Blatt fast identisch sind. Ohne Blatt sind Gehalte zwischen 48 - 53 und mit Blatt zwischen 55 - 59 g/kg TS zu verzeichnen. Die Zuckerrüben ohne Blatt weisen ähnliche, aber geringere Rohfasergehalte auf, welche sich zwischen 42 - 46 g/kg TS belaufen. In der Variante mit Blatt sind sich die Gehalte mit durchschnittlich 54 g/kg TS bei den Sorten Belladonna, Mars, Lukas und Balade am ähnlichsten. Die Sorte Klaxon hingegen weist mit 44 g/kg TS den geringsten Rohfasergehalt in dieser Variante auf.

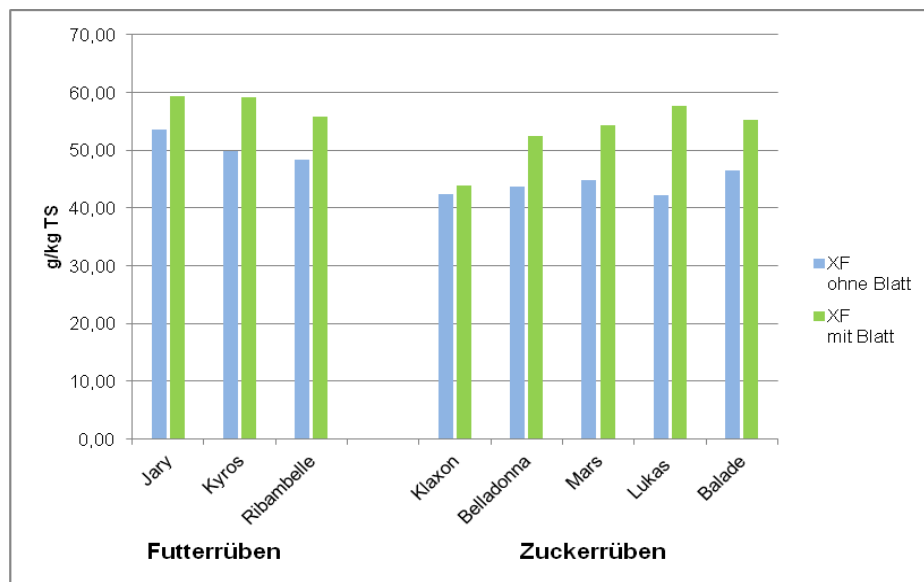


Abbildung 21: Rohfasergehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben

Zur Ermittlung des Rohfasergehaltes der Rübensilage, wurde die Korrekturformel nach WEISSBACH (2008d) angewendet. Abbildung 22 stellt somit korrigierte Werte dar. Sichtbar wird, dass die Silagen der frischen Rüben mit Blatt, die der Variante ohne Blatt übertreffen. Wie bei den frischen Futterrüben, weichen die Silagen innerhalb der Varianten mit und ohne Blatt nur geringfügig voneinander ab. Weitaus höher fällt hier der Rohfasergehalt in der Variante mit Blatt aus. Dieser beläuft sich auf bis zu 20 g/kg TS zwischen den Futterrübensilagen. Bei den Zuckerrübensilagen Klaxon, Belladonna, Mars und Lukas ohne Blatt, fällt hingegen der Gehalt an korrigierter Rohfaser mit 47 - 53 g/kg TS ziemlich gleich aus. Die Sorte Balade verzeichnet mit 60 g/kg TS Rohfaser einen höheren Gehalt als die anderen Zuckerrübensorten. Fast entgegengesetzt verhalten sich die Zuckerrübensilagen in

der Variante mit Blatt, denn hier weisen die Sorten Belladonna, Mars, Lukas und Balade untereinander identische Gehalte auf. Den geringsten Rohfasergehalt erreicht hierbei die Sorte Klaxon mit ca. 58 g/kg TS und den höchsten die Sorte Lukas mit 73 g/kg TS.

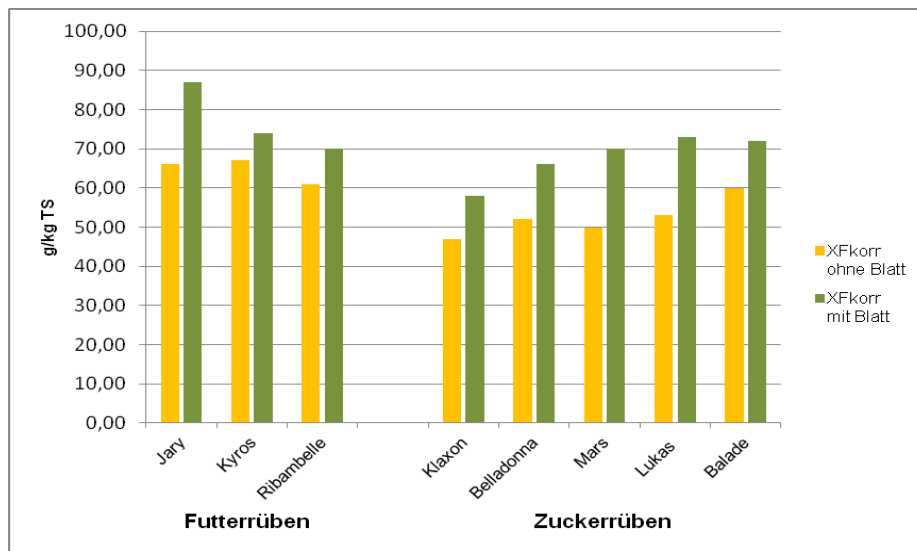


Abbildung 22: Rohfasergehalt der Futter- und Zuckerrübensilage

4.1.3 Rohaschegehalt

Die Rohaschegehalte der frischen Rüben stellt die Abbildung 23 dar. Auffällig ist, dass unter den Sorten der Futter- und Zuckerrüben sowie deren Varianten die Gehalte an Rohasche sehr verschieden ausfallen. Die Schwankungen der Gehalte in den Futterrüben fallen bei der Variante ohne Blatt von 64 - 87 g/kg TS höher aus als bei der Variante mit Blatt. Jary enthält dabei ohne Blatt mit 87 g/kg TS und Kyros mit Blatt, mit 109 g/kg TS den meisten Rohascheanteil. Die Schwankungen unter den Zuckerrübensorten und deren Varianten fallen ähnlich aus, wobei hier ein vielfältigeres Spektrum aufgezeigt werden kann. Bei der Variante ohne Blatt entsteht somit eine Spanne von 62 - 77 g/kg TS und bei der mit Blatt von 67 - 94 g/kg TS. Im Mittel lässt dies bei den Zuckerrüben gegenüber den Futterrüben auf einen geringeren Rohaschegehalt schließen.

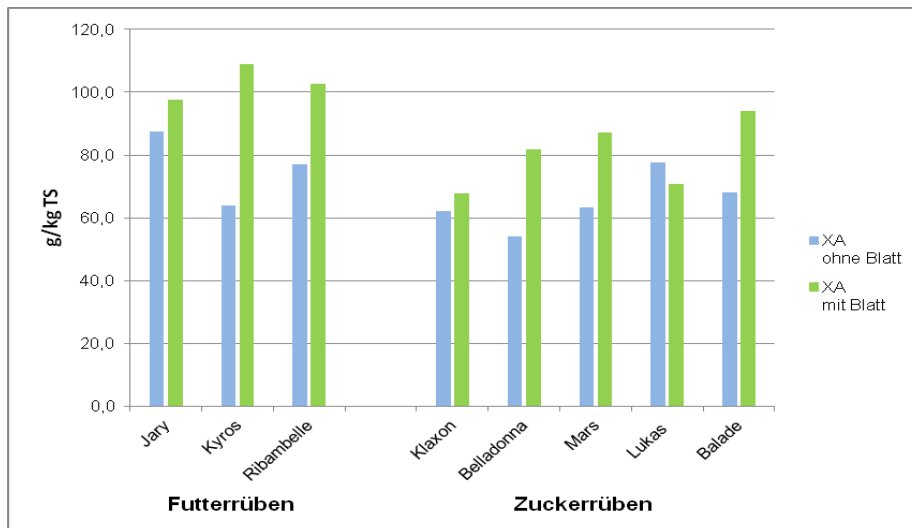


Abbildung 23: Rohaschegehalte der frischen Futter- und Zuckerrüben

Wie bei den erntefrischen Rüben ergeben sich auch bei den korrigierten Rohaschegehalten der Silagen aus Abbildung 24 sichtbare Schwankungen. Auch hier hat die Futterrübensorte Jary in der Variante ohne Blatt den höchsten Gehalt mit 125 g/kg TS_k . Bei der Variante mit Blatt verzeichnet die Sorte Ribambelle den höchsten Rohaschegehalt mit 181 g/kg TS_k . Bei den Zuckerrüben verzeichnet die Sorte Klaxon in der Variante ohne Blatt mit 134 g/kg TS_k den höchsten und Belladonna mit 85 g/kg TS_k den geringsten Gehalt. Anders ist es bei der Variante mit Blatt, hier weist Klaxon den geringsten und Lukas den höchsten Rohaschegehalt auf. Insgesamt gesehen fallen auch hier die Rohaschegehalte der Futterrüben höher aus als die der Zuckerrüben.

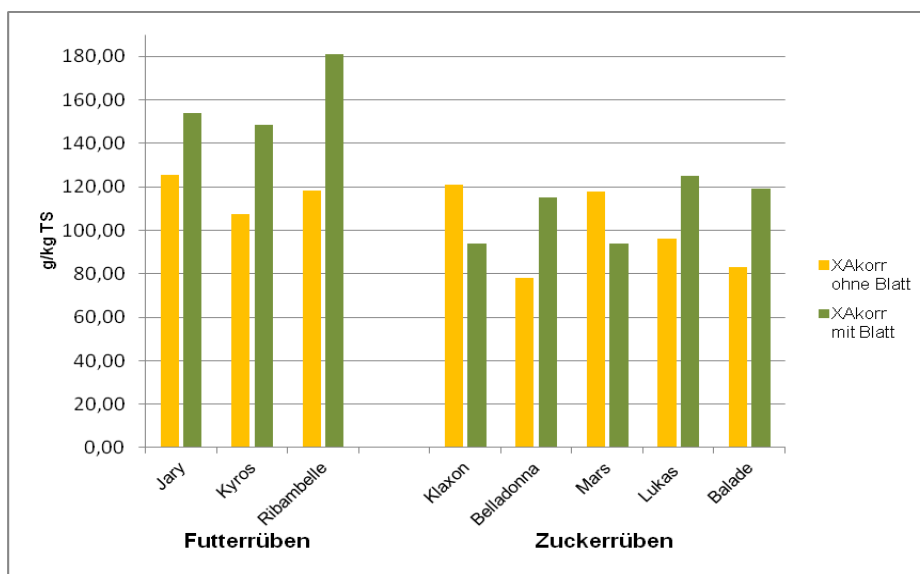


Abbildung 24: Rohaschegehalte der silierten Futter- und Zuckerrüben

4.1.4 Fermentierbare organische Trockensubstanz

In Abbildung 25 und 26 wird die fermentierbare organische Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben in frischer und siliierter Form wiedergegeben.

Bei den erntefrischen Futterrüben ergeben sich in der Variante ohne Blatt etwas größere Abstände der Werte, als in der Variante mit Blatt. Kyros erreicht dabei eine fermentierbare organische Trockensubstanz von 819 g/kg TS. In der Variante mit Blatt hat Jary mit 785 g/kg den höchsten Wert. Bei den Zuckerrüben hingegen, ist außer bei der Sorte Klaxon mit einem Gehalt von 770 g/kg TS ein weitaus größerer Unterschied zwischen den Varianten ohne und mit Blatt zu erkennen. Insgesamt gesehen schneidet hierbei die Variante ohne Blatt mit hohen fermentierbaren Substanzen am besten ab. Den höchsten Wert verzeichnet die Sorte Belladonna mit 782 g/kg TS.

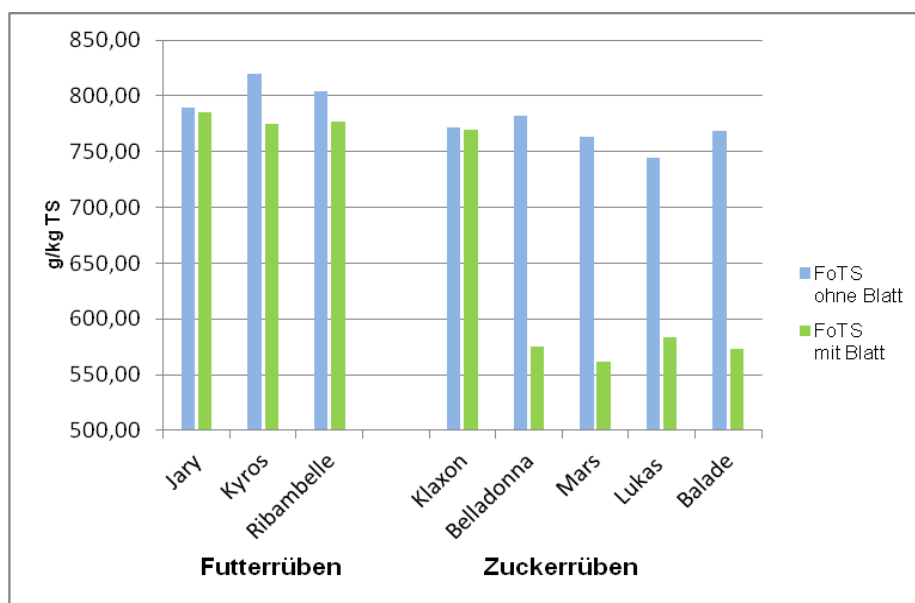


Abbildung 25: FoTS der frischen Futter- und Zuckerrüben

Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, verhält sich das silierte Material ähnlich, wie das zuvor beschriebene frische Ausgangsmaterial der Futterrüben. Kyros erzielt in der Variante ohne Blatt mit 849 g/kg TS und in der Variante mit Blatt 814 g/kg TS die höchsten Gehalte. Bei den Zuckerrüben ist in der silierten Variante ohne Blatt ein höherer FoTS-Gehalt festzustellen und übertrifft bei den Sorten Belladonna, Lukas und Balade den Gehalt mit ca. 40 g/kg TS die Variante mit Blatt. So erreichen die Zuckerrübensorten Belladonna ohne Blatt ein FoTS-Gehalt von 885 g/kg TS und Klaxon mit Blatt 867 g/kg TS.

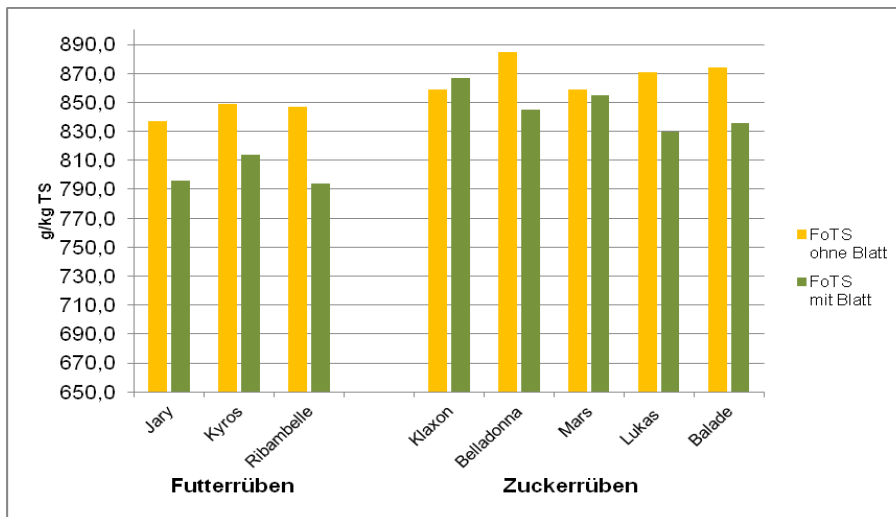


Abbildung 26: FoTS der Futter- und Zuckerrübensilage

4.1.5 Essigsäure

In Abbildung 27 werden die Essigsäuregehalte der untersuchten Futter- und Zuckerrübensilagen dargestellt. Auffällig ist, dass die Futterrüben in beiden Varianten deutlich mehr Essigsäure enthalten als die Sorten und Varianten der Zuckerrüben. Mit ca. 7 und 8 g/kg FM verfügt die Sorte Ribambelle im Vergleich zu den anderen Futterrübensorten die höchsten Gehalte. Die beiden anderen Sorten schließen sich aber unmittelbar den Höchstwerten von Ribambelle an. Die Zuckerrübensilagen hingegen erzielen nur die Hälfte des in den Futterrübensilagen vorkommenden Essigsäuregehaltes. Dieser befindet sich in der Variante ohne Blatt bei 3 - 4 g/kg FM und in der Variante mit Blatt bei 4 g/kg FM.

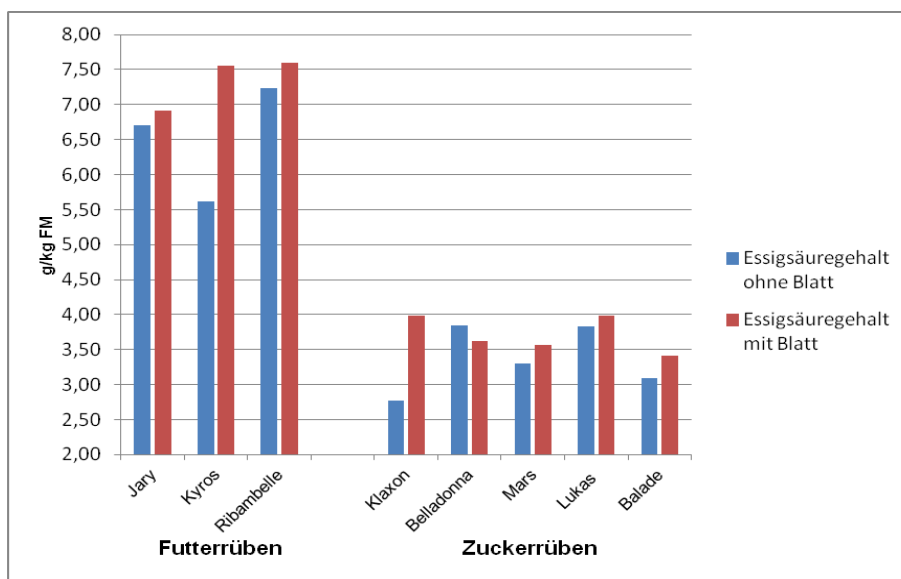


Abbildung 27: Essigsäuregehalt der Futter- und Zuckerrübensilagen

4.1.6 Milchsäure

Die Gehalte an Milchsäure stellt die Abbildung 28 dar. Auffällig ist, dass die Werte zwischen den einzelnen Varianten und den Sorten stark schwanken. Bei den Futterrübensilagen hat die Sorte Kyros mit 20 g/kg FM ohne Blatt und 21 g/kg FM mit Blatt den höchsten Milchsäuregehalt. Jary mit Blatt verzeichnet ein Gehalt von 17 g/kg FM und ohne Blatt die Hälfte. Fast entgegengesetzt zeigt sich Ribambelle, da diese Sorte ohne Blatt mehr Milchsäure aufweist als in der Variante mit Blatt. Bei den Zuckerrüben ähnelt sich dieses Schaubild, wobei die Sorte Balade ohne Blatt ein Gehalt von 33 g/kg FM und Belladonna mit Blatt 25 g/kg FM erreicht.

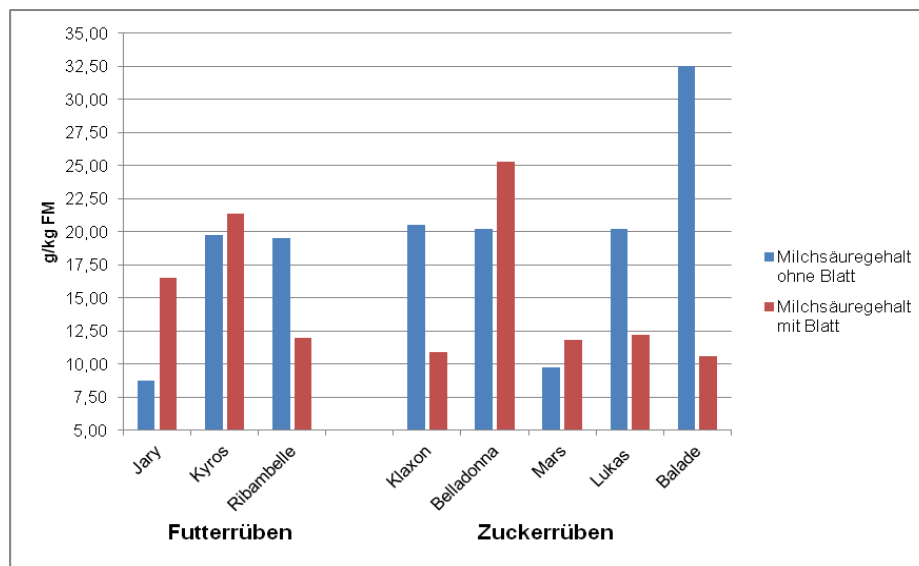


Abbildung 28: Milchsäuregehalt der Futter- und Zuckerrübensilagen

4.1.7 Ethanol

Die ermittelten Ethanolgehalte der Futter- und Zuckerrübensilagen sind in der Abbildung 29 dargestellt. Dabei schneiden die Futterrübensorten Jary und Kyros in der Variante mit Blatt, neben der Zuckerrübensorte Belladonna mit einem Gehalt von ca. 2 g/kg FM am höchsten ab. Ohne Blatt erreichen die Futterrübensilagen gleichwertige Ethanolgehalte, die im Mittel bei 1,5 g/kg FM liegen. Den geringsten Milchsäuregehalt bei den Zuckerrüben der beiden Varianten erreicht die Sorte Lukas mit 0,3 g/kg FM. Gleiche Werte sind auch in der Variante mit Blatt bei den Sorten Klaxon, Mars und Balade zu finden. Den höchsten Ethanolgehalt verzeichnet die

Futterrübe Jary und die Zuckerrübe Bellanona in der Variante mit Blatt mit 2,3 g/kg FM.

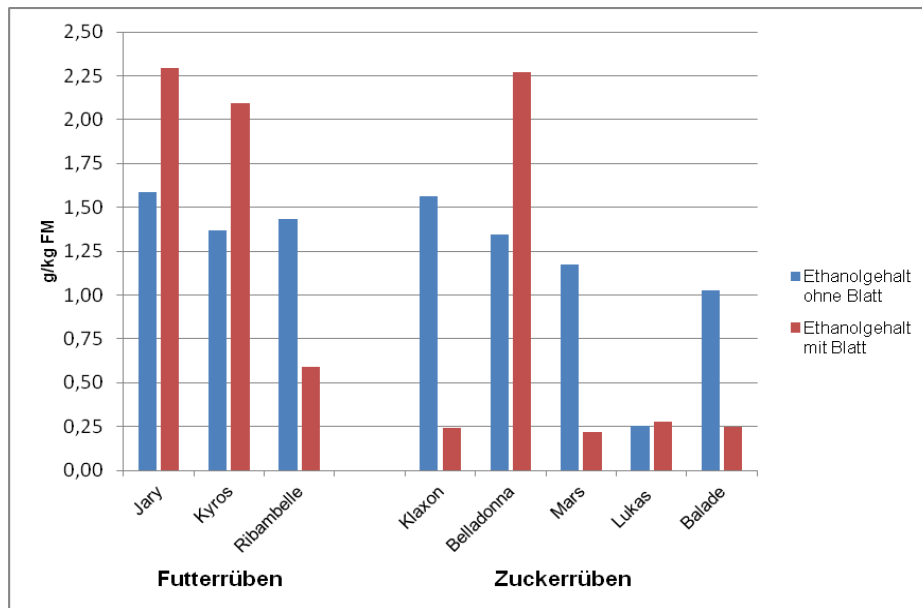


Abbildung 29: Ethanolgehalte der Futter- und Zuckerrübensilage

4.1.8 Gasbildungsvermögen je Kilogramm Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben im frischen und siliertem Zustand

Das Gasbildungsvermögen von frischen und silierten Futter- und Zuckerrüben wird in den folgenden Abbildungen 30 und 31 graphisch dargestellt. Da ca. 50 % des entstandenen Gases aus Methan besteht, erfolgt die Interpretation des Methanbildungsvermögens analog zum Biogasbildungsvermögen.

Aus den Werten und der Abbildung 30 ist zu erkennen, dass die Futterrübensorten ein etwas höheres Gasbildungsvermögen aufweisen als die Zuckerrübensorten. Unter den jeweiligen Sorten und den Varianten ohne und mit Blatt sind nur geringe Abweichungen festzustellen. Dabei sind die Gasausbeuten der Variante ohne Blatt im Durchschnitt über denen der Variante mit Blatt. Hier erreichen die Futterrübensorten Jary, Kyros und Ribambelle ohne Blatt ein Potenzial von 593 - 603 l/kg TS und mit Blatt von 581- 589 l/kg TS. Die erntefrischen Zuckerrüben, verhalten sich in beiden Varianten ähnlich wie die der Futterrüben. Das Gasbildungspotenzial liegt in der Variante ohne Blatt zwischen 558 l/kg TS bei Lukas und 587 l/kg TS bei Belladonna. Auffällig erscheint die Sorte Lukas mit Blatt, da sie

mehr Biogas bildet als in der Variante ohne Blatt. Bei der Sorte Mars mit Blatt ergibt sich die geringste Gasbildung mit 561 l/kg TS.

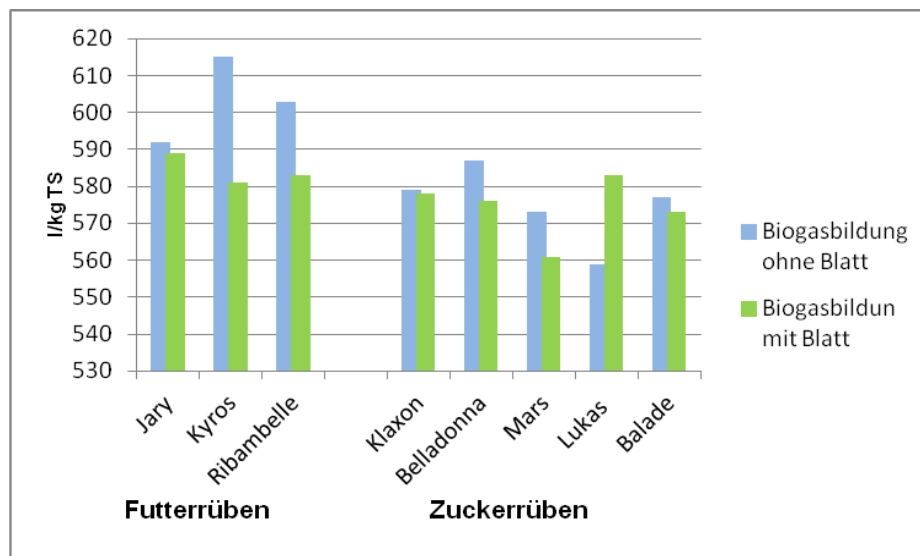


Abbildung 30: Gasbildungsvermögen der frischen Futter- und Zuckerrüben

Auch bei den erntefrischen Futterrüben, weist die silierte Form ohne Blatt eine höhere Gasbildung auf als die mit Blatt. Wie in Abbildung 31 zu erkennen ist, fällt der Abstand zu den Varianten weitaus größer aus. Den größten Unterschied bei den Futterrüben der Varianten hat Ribambelle mit 40 l/kg TS_k. Wesentlich geringer fallen die Schwankungen der Varianten bei den Zuckerrübensorten mit ca. 30 l/kg TS_k aus. Die Sorte Klaxon bildet in der Variante mit Blatt sogar etwas mehr Biogas. Der höchste Gasertrag der Sorten und Varianten wird von Belladonna mit 664 l/kg TS_k erreicht. Die anderen Zuckerrüben hingegen liegen mit 645 bis 655 l/kg TS_k bei einem verhältnismäßig gleichen Gasbildungsvermögen.

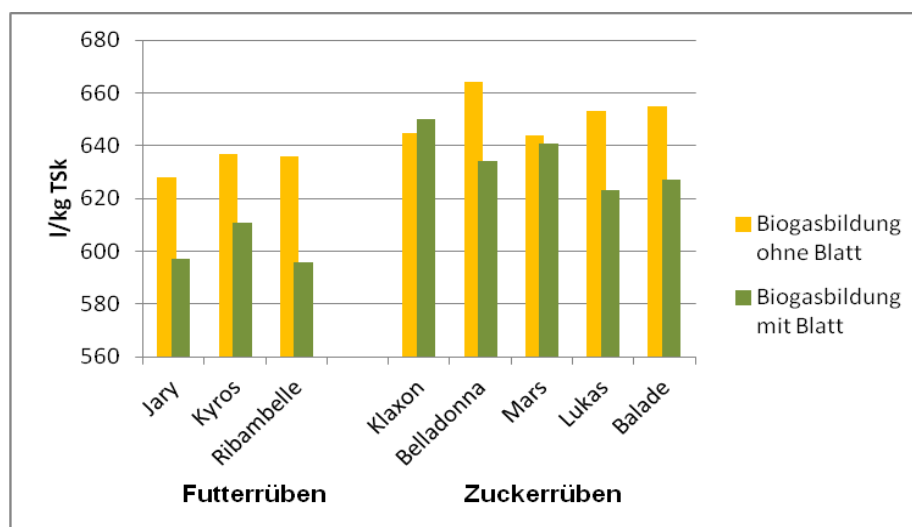


Abbildung 31: Gasbildungsvermögen der Futter- und Zuckerrübensilage

4.1.9 Gasbildungsvermögen von frischen und silierten Futter- und Zuckerrüben bezogen auf den Hektarertrag

In den folgenden Abbildungen 32 und 33 sind die theoretischen Biogaserträge erntefrischer und silierter Futter- und Zuckerrüben in m^3/ha dargestellt. Für Frischmasseerträge, die in durchschnittlichen Jahren erzielt werden können, wurden Angaben nach DILGER (2006), des statistischen Amt Mecklenburg-Vorpommern (2010) und der landwirtschaftlichen Fachbehörde MV (2007) hinzugezogen. Für Futterrüben wurden hierbei 100 Tonnen und für Zuckerrüben 50 Tonnen FM je Hektar angenommen. Die Werte beziehen sich dabei auf den Ertrag ohne Blattapparat bzw. Rübenkopf. Bei der Verwendung des Rübenkopfes ist nach MÄRLÄNDER et al. (2010) eine Erhöhung des Ertrages um ca. 10 % vorzunehmen. Mit den Durchschnittswerten dieser Untersuchung sind für erntefrische Futterrüben ohne Blatt 16 % und für Zuckerrüben 23 % TS verwendet worden. In der Variante mit Blatt ergaben sich für Futterrüben 15 % und für Zuckerrüben 21 % TS. Bei den erntefrischen Futterrüben ohne Blatt wird deutlich, dass die Sorte Kyros mit ca. 9830 m^3 Biogas die höchste Gasbildung je Hektar TM aufweist. In der Variante mit Blatt erreicht die Futterrübe Jary mit 9720 m^3 Biogas das höchste Gasbildungsvermögen. Das Gasbildungspotenzial der Zuckerrüben ohne Blatt befindet sich im Mittel mit 6600 m^3 Biogas je Hektar, auf einem gleichen Niveau wie das der Zuckerrüben mit Blatt. Hier erreichen die Sorten Belladonna ohne Blatt und Lukas mit Blatt mit ca. 6750 m^3 Biogas je Hektar, das theoretisch höchste Gasbildungsvermögen.

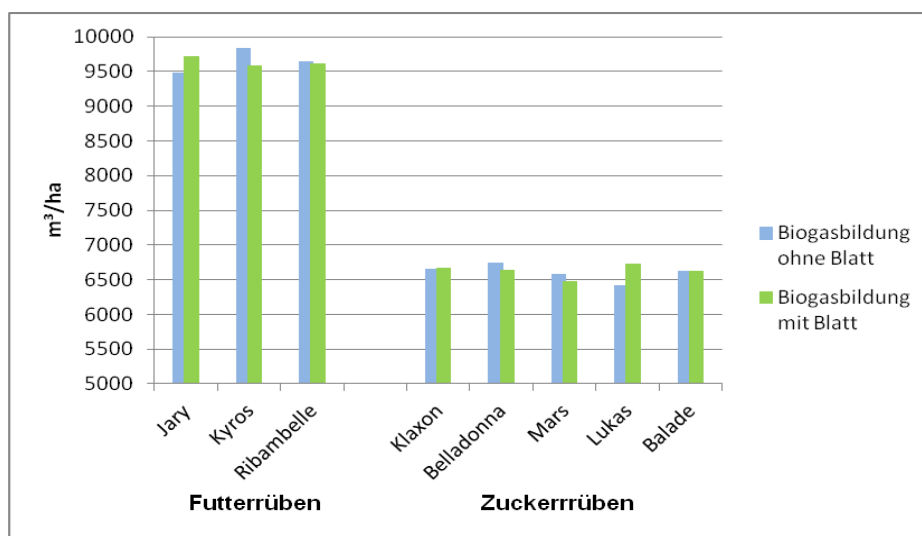


Abbildung 32: Gasbildungsvermögen der Trockenmasse je Hektar von erntefrischen Futter- und Zuckerrüben

Bei den in Abbildung 33 dargestellten Futter- und Zuckerrübensilagen wird die korrigierte Trockenmassesubstanz nach WEISSBACH (2008d) dargestellt. Hierfür wurde aus der Untersuchung von Futterrübensilage mit und ohne Blatt im Durchschnitt der Proben mit 20 % TS_k gerechnet. Unter den Zuckerrüben ergab sich in der Variante ohne Blatt eine korrigierte TS von 22% und mit Blatt 20%. So ergibt sich bei den Futterrüben in der Variante mit Blatt das größte Gasbildungsvermögen je Hektar, welches von der Sorte Kyros mit ca. 13430 m³ Biogas erreicht wird. Auch in der Variante ohne Blatt erreicht Kyros das höchste Gasbildungsvermögen mit ca. 12740 m³ Biogas. Bei den Zuckerrübensilagen verzeichnet die Sorte Belladonna ohne Blatt mit ca. 7300 m³ Biogas gefolgt von der Sorte Klaxon mit Blatt mit ca. 7100 m³ Biogas, das höchste Gasbildungsvermögen. Bei den Sorten Klaxon und Mars ist zusätzlich festzustellen, dass sie in der Variante ohne Blatt ein ähnliches Biogaspotenzial aufzeigen.

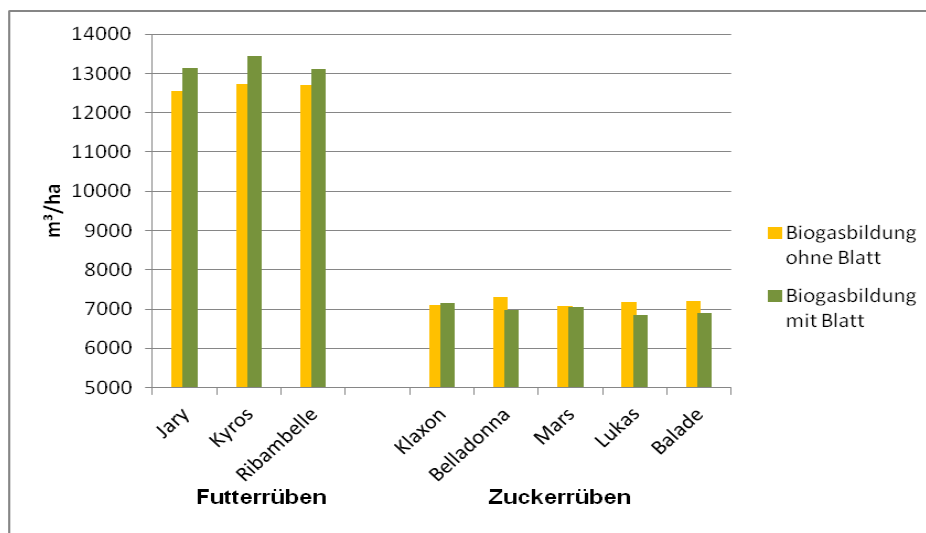


Abbildung 33: Gasbildungsvermögen je Hektar von silierten Futter- und Zuckerrüben

4.2 Getreideganzpflanzensilage

4.2.1 Trockenmassesubstanz, Rohfaser- und Rohaschegehalt

Die in Abbildung 34 dargestellten Gehalte, sind nach WEISSBACH (2008a) korrigierte Werte der Getreide-GPS. Deutlich wird, dass sich die Trockenmassen der beiden untersuchten Gerstensorten um ca. 115 g/kg FM unterscheiden. Die Sorte Souleyka verzeichnet mit einer Trockensubstanz von 438 g/kg FM und einem Rohaschegehalt von 41 g/kg TS bessere Gehalte als Metaxa. Dennoch fällt der

Rohfasergehalt mit 310 g/kg TS etwas höher aus. Die Sorte Metaxa liegt dabei im Rohaschegehalt mit ca.10 g/kg TS höher und im Rohfasergehalt mit ca. 20 g/kg TS niedriger als der von Souleyka.

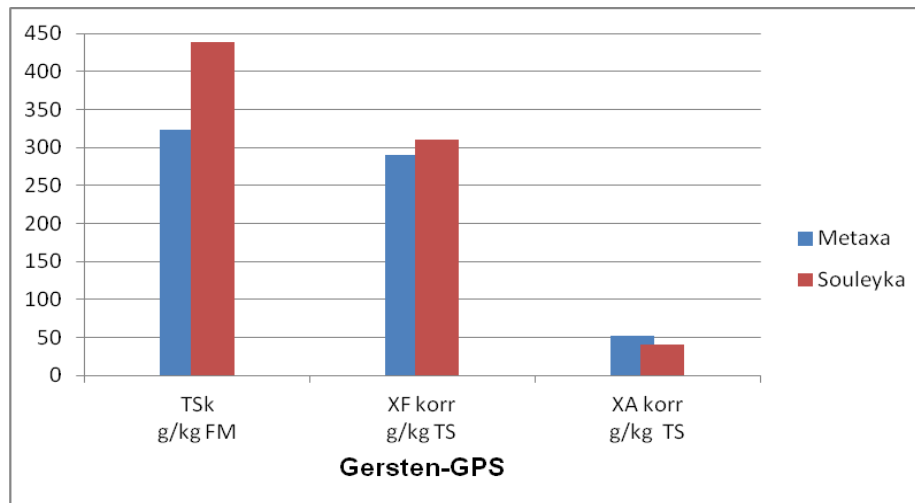


Abbildung 34: Trockenmassesubstanz, Rohfaser- und Rohaschegehalt der Gersten-GPS

4.2.2 Fermentierbare organische Substanz und Gasbildungsvermögen von Getreideganzpflanzensilage

Abbildung 35 zeigt die fermentierbare organische Trockensubstanz und das daraus resultierende Gasbildungsvermögen der untersuchten Gersten-GPS.

Hierbei wird deutlich, dass sich der FoTS-Gehalt der Gerstenganzpflanzensilage mit 680 bis 690 g/kg TS nahezu einheitlich darstellt. Daraus ergibt sich ein sehr ähnliches Gasbildungsvermögen, wobei die Sorte Metaxa mit 552 l/kg TS_k nur ein geringfügig höheres Gaspotenzial als die Sorte Souleyka verzeichnet.

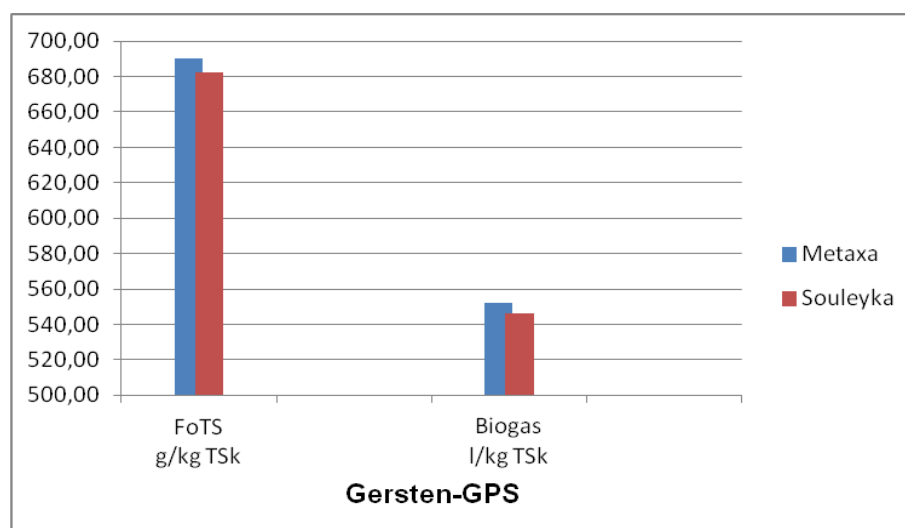


Abbildung 35: FoTS und Gasbildungsvermögen der Gersten-GPS

4.2.3 Gasbildungsvermögen je Hektar von Gersten-Ganzpflanzensilage

Nach Angaben der SAATEN-UNION (2010a) kann bei Getreide-GPS mit einer Trockensubstanz von 35 % ein durchschnittlicher Ertrag von 10 Tonnen je Hektar angenommen werden. Die untersuchten Silagen zeigten mit der Korrektur nach WEISSBACH (2008a) eine TS von 38 % auf. Für die Proben ergab sich damit eine TS_k von ca. 11 Tonnen je Hektar. Demnach verzeichnet die Gersten-GPS Metaxa in Abbildung 36 ein geringfügig höheres Gasbildungspotenzial als die Sorte Soulyka.

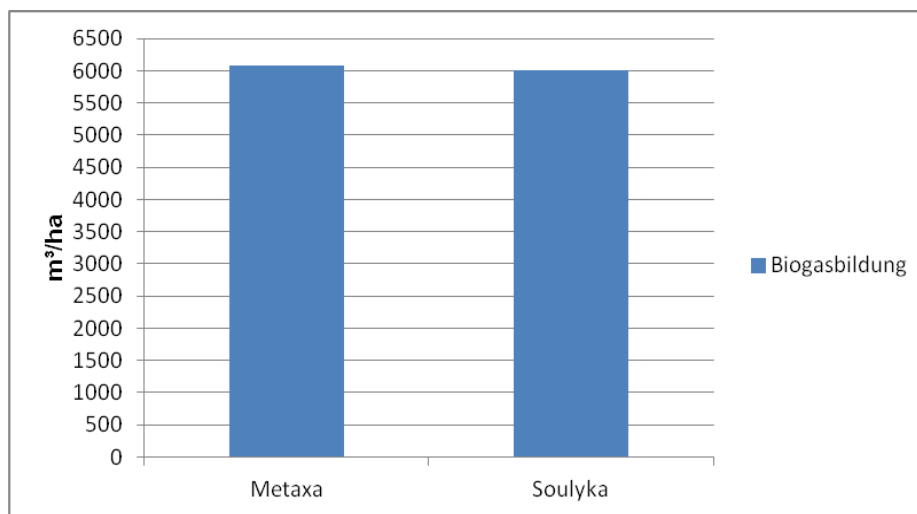


Abbildung 36: Gasbildungsvermögen je Hektar von Gersten-GPS

4.3 Grassilage

4.3.1 Gehalte und Gasbildungsvermögen bezogen auf ein Kilogramm Trockensubstanz

Weil es sich bei den 11 Grassilageproben (siehe Anhang) um verschiedenste Zusammensetzungen und Qualitäten handelt, wurden für diese Untersuchung die jeweiligen Durchschnittswerte ermittelt und in Abbildung 37 dargestellt. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben wurde, muss eine Korrektur nach WEISSBACH (2008a, 2009) für die Trockenmasse, Rohnährstoffe, EulOS und FoTS erfolgen. Demnach beläuft sich das daraus resultierende durchschnittliche Gasbildungsvermögen auf 472 l/kg TS_k .

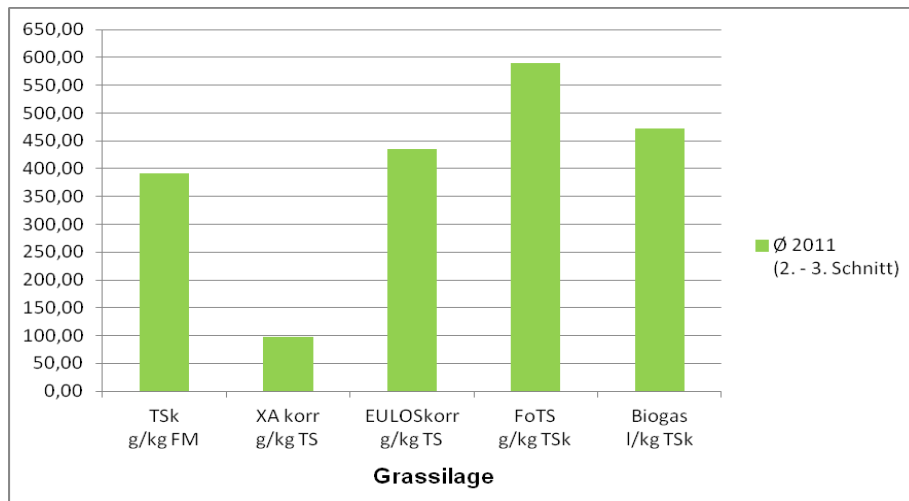


Abbildung 37: Durchschnittliche Gehalte und Gasbildung der Grassilagen 2011

4.3.2 Gasbildungsvermögen von Grassilage bezogen auf einen Hektar

In Abbildung 38 ist das durchschnittliche Gasbildungsvermögen von Grassilage aus dem Jahr 2011, vom zweiten und dritten Schnitt dargestellt. Nach Angaben der landwirtschaftlichen Fachbehörde M-V (2007) sind bei einer mittleren Düngung ca. 50 Tonnen Frischmasse im Jahr zu erwarten. In Bezug auf die Proben und dessen Korrektur nach WEISSBACH (2008a, 2009) ergibt sich mit 39 % TS_k ein Ertrag von 19,5 Tonnen TS je Hektar und Jahr. Weil beim ersten Aufwuchs schon ca. 50% des Gesamtertrages erzeugt werden kann, ist für den zweiten und dritten Aufwuchs je 25% angenommen worden. Die untersuchten Grassilagen erreichen somit auf 4,9 Tonnen korrigierter Trockensubstanz, eine theoretische Biogasbildung von 2311 m³/ha.

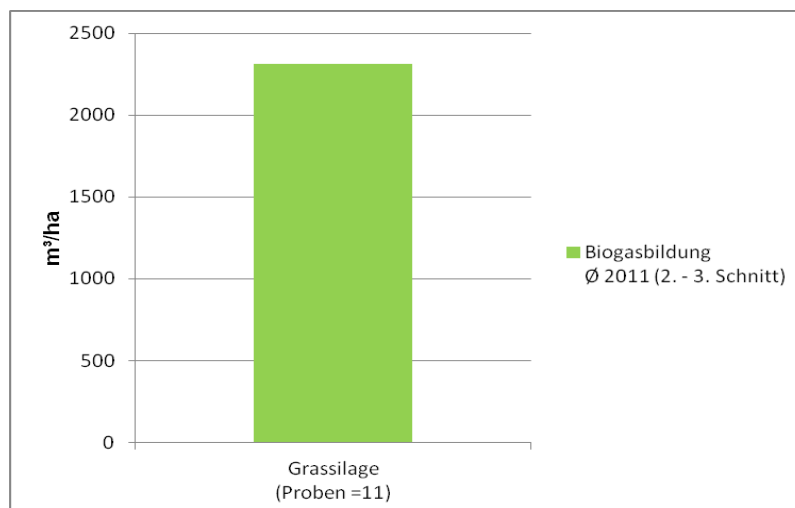


Abbildung 38: Gasbildungspotenzial je Hektar vom 2. - 3. Schnitt der Grassilage (2011)

5. Vergleich des Gasbildungsvermögens

5.1 Vergleich des Gasbildungsvermögens im Bezug auf die Trockensubstanz von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Maissilage

Die Korrektur der Trockensubstanz, die Berechnung der FoTS und des Gasbildungspotentials des jeweiligen Probenmaterials sind in den Kapiteln 3.1 - 3.6 schon näher beschrieben worden. Die folgenden Daten der Trockensubstanz, des Nährstoff- und FoTS-Gehalts sowie das Gasbildungspotenzial von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage, Grassilage und Maissilage basieren auf Durchschnittswerten aus Untersuchungen der Jahre 2006 – 2011 und wurden anschließend mit den Ergebnissen dieser Untersuchung verrechnet.

Tabelle 1: Durchschnittliche Trockensubstanz, Nährstoff- und FoTS-Gehalt sowie das Gasbildungspotenzial von erntefrischen / silierten Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen-, Gras- und Maissilage aus Untersuchungen der Jahre 2006 - 2011.

Kultur	Jahr	Proben (n)	n ges.	TS _n g/kg FM	TS _k g/kg FM	XF _{korrr} g/kg TS _n	XA _{korrr} g/kg TS _n	FoTS g/kg TS _k	Biogas l/kg TS _k	
Futterrübe frisch ohne Blatt	2010	2	12	163		53	83	862	646	
Futterrübe frisch mit Blatt				154		61	86	860	645	
Zuckerrübe frisch ohne Blatt		4		228		42	63	895	672	
Zuckerrübe frisch mit Blatt				207		50	79	874	656	
Futterrübe siliert ohne Blatt		2			141	82	126	821	639	
Futterrübe siliert mit Blatt					131	101	132	797	632	
Zuckerrübe siliert ohne Blatt		4				202	54	96	870	668
Zuckerrübe siliert mit Blatt						172	63	115	837	639
Roggen-GPS	2008		6	358	373	262	45	707	565	
Grassilage (1. Schnitt)	- 2011		11	298	315	240	80	753	603	
Grassilage (2. - 3. Schnitt)	2008 - 2010		20	408	422		100	623	498	
Maissilage	2006 - 2011		77	350	367	188	34	825	660	

Abbildung 39 stellt das durchschnittliche Gasbildungsvermögen der eignen Versuchsdaten und der hinzugezogenen Daten aus Tabelle 1 der Jahre 2006 bis 2011 dar. Das größte Gasbildungspotenzial im Vergleich zu Mais mit 660 l/kg TS_k haben hierbei die silierten Zuckerrüben ohne Blatt mit 659 l/kg TS_k. Die silierten Zuckerrüben mit Blatt mit 636 l und die silierten Futterrüben ohne Blatt mit 632 l Biogas je kg TS_k liegen etwas weiter dahinter. Besonders auffällig ist, dass sich die frischen Futter- und Zuckerrüben in Art und Variante nicht in der Gasbildung voneinander unterscheiden. Den geringsten Wert unter den Rüben erreicht das silierte Untersuchungsmaterial der Futterrübe mit Blatt mit 602 l/kg TS_k. Ein ähnliches Gasbildungsvermögen wie die Futterrübensilage mit Blatt, weisen Grassilagen vom 1. Schnitt mit 603 l/kg TS_k auf. Diesem Potenzial folgt die Getreide-GPS mit einem durchschnittlichen Gasbildungsvermögen von 557 l/kg TS_k. Gegenüber der Gersten-GPS erreicht die Roggen-GPS ein leicht höheres Gasbildungsvermögen. Die geringste Gasbildung unter den untersuchten Pflanzenmaterialien verzeichnet die Grassilagen vom 2. bis 3. Schnitt, mit 489 l/kg TS_k. Da Methan ca. 50 % des Gehaltes am Biogas entspricht, erfolgt die Darstellung der Methanbildung analog zur Biogasbildung.

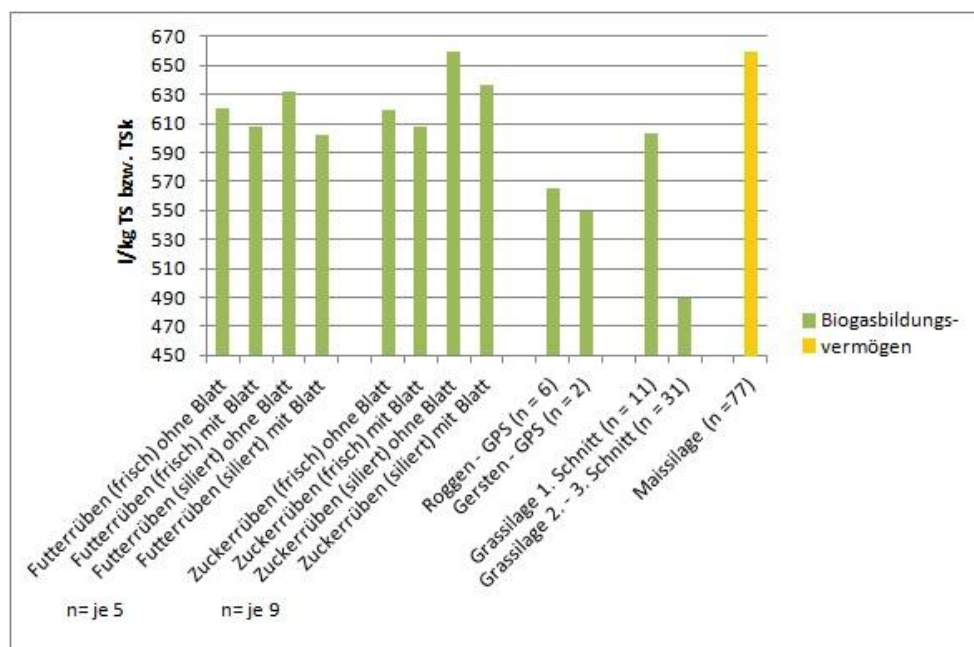


Abbildung 39: Durchschnittliches Gasbildungsvermögen von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage sowie Grassilagen im Vergleich zu Mais

5.2 Vergleich des Gasbildungsvermögens von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage gegenüber Mais je Hektar

Abbildung 40 stellt das theoretische Gasbildungsvermögen der Trockensubstanz, bezogen auf einen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche, von erntefrischen bzw. silierten Futter- und Zuckerrüben sowie Getreideganzpflanzen- und Grassilage im Vergleich zu Mais dar. Auffällig ist, dass silierte Futterrüben in den Varianten mit und ohne Blatt über ein sehr hohes Gasbildungspotenzial je Hektar verfügen. Die silierten Futterrüben mit Blatt verzeichnen dabei die höchste Gasbildung mit 12160 m³/ha. Eine höhere Gasbildung als Mais mit 9762 m³/ha erreichen auch die erntefrischen Futterrüben in den Varianten mit und ohne Blatt mit ca. 10000 m³/ha. Alle weiteren Kulturen bilden weniger Biogas je Hektar und liegen somit unter dem Gasbildungsvermögen von Mais. Mit durchschnittlich 7100 m³ Biogas je Hektar folgt dem Mais die Zuckerrübe. Hier ist bei den erntefrischen und silierten Zuckerrüben festzustellen, dass sie in der Variante ohne Blatt mehr Biogas bilden als in der mit Blatt. Dabei erreichen silierte Zuckerrüben ohne Blatt mit 7334 m³/ha die höchste Gasbildung. Ein mittelmäßiges Gasbildungsvermögen weisen die Grassilagen des 1. Schnittes mit 5900 m³/ha auf. Diesem folgen die Getreideganzpflanzensilagen mit durchschnittlich 5570 m³ Biogas. Die theoretisch geringste Gasbildung geht aus dem 2. und 3. Schnitt der Grassilagen mit durchschnittlich 2311 m³/ha hervor. Die Interpretation der Methangehalte erfolgt auch hier um ca. 50 % zur Biogasbildung.

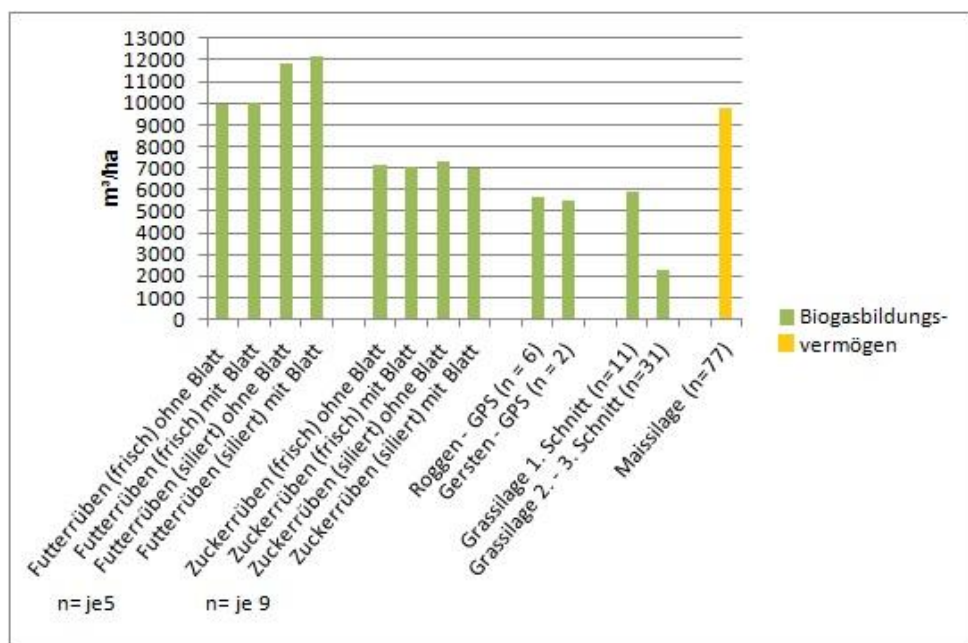


Abbildung 40: Durchschnittliches Gasbildungsvermögen je Hektar von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage sowie Grassilagen im Vergleich zu Mais

6. Diskussion

6.1 Trockensubstanz, korrigierte Trockensubstanz, fermentierbare organische Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzensilage und Grassilage

Die **Trockensubstanz** der drei frisch geernteten Futterrübensorten beträgt im Mittel beider Varianten 156 g/kg FM, was einem TS-Gehalt von ca. 16 % entspricht. Bei den fünf Zuckerrübensorten ergab sich unter den Varianten mit und ohne Blatt ein Mittelwert von 218 g/kg FM, der wiederum einer TS von 22 % entspricht. Der geringere TS-Gehalt der Futter- und Zuckerrüben in der Variante mit Blatt ist daraus abzuleiten, dass das Blatt durch seinen Wasseranteil einen Verdünnungseffekt mit sich führt.

Die **Korrektur der Trockenmassesubstanz** von Silagen ist, wie im Kapitel 2.17 beschrieben erforderlich, weil bei der Trocknung Gärprodukte entweichen. Sie wird durch eine spezielle Korrekturgleichung ermittelt. Unter Beachtung der Korrektur ergaben sich für die Futterrübensilagen in beiden Varianten im Mittel, das ca. 20 % der Frischmasse als Trockenmasse gebildet werden. Die Zuckerrübensilagen erreichten ohne Blatt eine TS von ca. 23 % und mit Blatt 21 %. In der Literatur (DÖHLER et al., 2011) werden Werte von 16 % für Futterrübensilage bzw. 23 % für Zuckerrübensilage angegeben. Ebenfalls konnten aus einer Rohnährstofftabelle nach STEINGASS (2009) Richtwerte für Rüben hinzugezogen werden. Demnach können sich für Futterrüben TS-Gehalte zwischen 14 bis 22 % und für Zuckerrüben von 20 bis 28 % ergeben. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Untersuchung mit den Werten der genannten Literatur, ist festzustellen, dass die ausgewerteten Trockensubstanzen der untersuchten Futter- und Zuckerrüben im angegebenen Bereich der Literatur liegen und somit als typisch für diese Kultur zu werten sind.

Auf die **fermentierbare organische Trockensubstanz** nehmen vor allem der Gehalt an Rohfaser und Rohasche Einfluss, da es bei einer Zunahme dieser Rohnährstoffe, zu einer negativen Auswirkung auf den eigentlich fermentierbaren Anteil und somit auf die Gasausbeute kommt. Dieses wird daher bei der Berechnung durch die Schätzformel nach WEISSBACH (2008b) berücksichtigt. Anders als bei erntefrischen

Rüben wird für die Ermittlung der FoTS bei Silagen mit korrigierten Rohfaser- und Rohaschegehalten gerechnet.

Futterrüben verfügen neben ihrer geringeren Trockensubstanz über einen höheren **Rohfaser- und Rohaschegehalt** als Zuckerrüben. Bei den erntefrischen Futterrüben ergab sich im Mittel der Variante ohne Blatt ein XF von 38 g/kg TS und ein XA von 58 g/kg TS. Die Variante mit Blatt verzeichnet ein XF-Gehalt von ca. 58 g/kg TS und ein XA-Gehalt von 103 g/kg TS. Bei den Zuckerrüben hingegen fallen die Gehalte in der Variante ohne Blatt mit 37g/kg TS XF und 54 g/kg TS XA sowie in der Variante mit Blatt mit 53 g/kg TM XF und 80 g/kg TS XF geringer aus. Ein eventueller Anstieg der Werte unter den Sorten lässt sich mit dem Einbringen des Blattapparates und dem daran anhaftenden Schmutz bzw. mit den im Blatt eingelagerten Mineralstoffen erklären.

Auch bei den korrigierten Werten der Silagen zeigt sich in der Variante mit und ohne Blatt, dass leicht erhöhte Anteile an Rohfaser und Rohasche vorhanden sind. So verzeichnen die Futterrübensilagen ohne Blatt mit einem Rohfaseranteil von 64 g/kg TS und einem XA-Gehalt von 117 g/kg TS sowie in der Variante mit Blatt ein XF-Gehalt von 77 g/kg TS und einem XA-Gehalt von 161 g/kg TS einen wesentlich stärkeren Anstieg der Gehalte, als die der erntefrischen Futterrüben. Ein etwas geringerer Abstand ergibt sich bei den Zuckerrübensilagen. Hier zeigt sich im Mittel der untersuchten Sorten ein XF-Gehalt in der Variante ohne Blatt von 52 g/kg TS und ein XA-Gehalt von 99 g/kg TS. Mit Blatt ergaben sich im Mittel XF-Gehalte von 68 g/kg TM mit einem XA-Gehalt von 110 g/kg TS. Im prozentualen Vergleich zu den Angaben der Rohnährstoffzusammensetzung von Rüben nach STEINGASS (2009), sind die ermittelten Werte als typische Ergebnisse anzusehen. Demnach ergeben sich im Durchschnitt für Futter- und Zuckerrüben Rohfasergehalte zwischen 5,4 und 6,4 % sowie Rohaschegehalte von 8,1 und 8,3 %. Erhöhte Werte zu dieser Untersuchung sind demzufolge am Verschmutzungsgrad zu erklären, da sich am Rübenkörper bzw. in Hohlräumen nach der Reinigung Rückstände befinden konnten.

6.3 Gehalte an Ethanol, Milchsäure und Essigsäure in Futter- und Zuckerrübensilagen

Auffällig an den **Ethanolgehalten** der Futter- und Zuckerrübensilagen ist, dass diese zwischen den Varianten ohne und mit Blatt stark schwanken. Die Futterrüben weisen dabei einen höheren Gehalt an Ethanol auf als die Zuckerrüben. Hier erreicht die Futterrübe Jary in der Variante mit Blatt den höchsten Ethanolgehalt mit 2,3 g/kg FM. Alle anderen Futterrübensorten liegen mit durchschnittlich 1,4 g/kg FM weit unter dem Höchstwert. Bei den Zuckerrüben fällt auf, dass in der Variante ohne Blatt, im Durchschnitt von 1,1 g/kg FM der höchste Gehalt an Ethanol zu verzeichnen ist. Den geringsten Wert bei den Zuckerrüben zeigt die Sorte Mars, in der Variante mit Blatt mit 0,2 g/kg FM auf. Im Vergleich zu Untersuchungsergebnissen nach WENDT (2011) fallen die erhobenen Ethanolgehalte in dieser Untersuchung sehr gering aus. Hier ergeben sich Abweichungen zwischen 10 bis 17 g/kg FM, zu den Angaben der genannten Literatur. Das im Durchschnitt bei Futter- bzw. Zuckerrüben in den Varianten mit Blatt geringere Ethanolgehalte entstehen, liegt an dem schon beschriebenen Verdünnungseffekt durch den Blattapparat und kann daher als normal gewertet werden. Die sonst eigentlichen großen Abweichungen der Ergebnisse zu den Angaben der genannten Literatur, lassen eher vermuten, dass durch das extrem nasse Jahr 2011 die normale Entwicklung der Rüben beeinträchtigt wurde. Weil alle Rüben am Standort im Wasser standen und diese somit einen massiven Zellenaufbau durchführen konnten, ist von einem Verdünnungseffekt auszugehen.

Der recht gleichmäßige **Milchsäuregehalt** der Futter- und Zuckerrübensorten in den Varianten mit und ohne Blatt lässt auf eine gute und gleichmäßige Silierung schließen. Die höchsten Gehalte an Milchsäure werden hierbei im Mittel der jeweiligen Variante ohne Blatt mit ca. 20 g/kg FM erreicht. Einen durchschnittlichen Gehalt verzeichnet die Futterrübe Kyros mit Blatt mit 21,4 g/kg FM sowie die Zuckerrübe Ballade ohne Blatt mit 32,5 g/kg FM. Auffällig erscheint die Verdünnung durch den Blattapparat, da er sich in der Milchsäurebildung aller Zuckerrübensilagen wesentlich schlechter darstellt, als bei den untersuchten Futterrübensilagen. Auch wenn mit der Futterrübe Jary und der Zuckerrübe Mars Werte leicht unter 10 g/kg FM erreicht wurden, liegen die Gehalte aller Proben von Untersuchungen nach WEISSBACH (2008d) und WENDT (2011) in einem annehmbaren Bereich und sind daher stets vom Silierverlauf und nicht von der Sorte abhängig.

Anders als beim Milchsäuregehalt weisen die Rüben im **Essigsäuregehalt** wesentlich höhere Schwankungen zueinander auf. So ergibt sich bei den Futterrüben ein durchschnittlicher Gehalt aus beiden Varianten von 6,9 g/kg FM und bei den Zuckerrüben von 3,5 g/kg FM. Weil Essigsäure für die Verdrängung von Restsauerstoff bei der Konservierung verantwortlich ist und die Milchsäurebildung somit unterstützt, haben höchstwahrscheinlich die geringen Essigsäuregehalte zu einer verminderten Milchsäurebildung in den Zuckerrübensilagen geführt. Den höchsten Gehalt an Essigsäure erreichten die Futterrübe Ribambelle und die Zuckerrübe Klaxon mit Blatt.

6.4 Korrigierte Trockensubstanz, fermentierbare organische Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche von Getreideganzpflanzensilage und Grassilage

Wie bei Rübensilage muss bei Silage aus Getreideganzpflanzen und Grassilage die **korrigierte Trockensubstanz** berücksichtigt werden. Unter Beachtung der Korrektur der Werte zu den untersuchten Getreide-GPS ergibt sich für die TS ein Mittelwert von 380 g/kg FM (38 %). Bei den Grassilagen aus den Jahren 2008 bis 2011 ergab sich im Mittel des 1. Schnittes eine TS von 32 % und bei der Silage des 2. und 3. Schnittes eine TS von 41 %. Die Werte der Gersten-GPS liegen noch in einem annehmbaren Bereich, die Grassilagen hingegen weichen stärker vom optimalen Wert ab. Angaben nach DÖHLER et al. (2011) unterstützen diese Aussage. Demnach haben GPS und Grassilage bei einer Trockensubstanz um 35 %, die besten Eigenschaften für den Silierprozess.

Auch bei Getreide und Gras nimmt der Rohfaser- und Rohaschegehalt großen Einfluss auf die **fermentierbare organische Trockensubstanz**. Im Vergleich der Kulturen fallen die Gehalte der korrigierten Rohasche bei Getreide-GPS um die Hälfte geringer aus als bei Grassilage. Leichte Differenzen gibt es aber auch unter den verschiedenen Schnitten der Grassilage.

Die **korrigierten Rohfasergehalte** der Getreide-GPS liegen über den der ermittelten Gehalte der Grassilagen. Eigentlich sollten sich die Werte ähneln und generell den Wert von 20 bis 25 % Rohfaser in der Trockenmasse nicht überschreiten

(JÄNICKE, 2011). Im Mittel erreicht die Getreide-GPS einen korrigierten Rohfasergehalt von 28 % und die Grassilage 24 %.

Wie schon zuvor beschrieben, ist neben dem Rohfasergehalt der **Rohaschegehalt** am Ergebnis der fermentierbaren organischen Trockensubstanz und des Gasertrages beteiligt. Erhöhte Rohaschegehalte können bei Getreide-GPS und Grassilagen durch den Eintrag von Verunreinigungen auftreten. Diese können beim Mähen, bei der Bergung oder beim Silieren zugeführt werden. Der korrigierte Rohaschegehalt der GPS beläuft sich im Mittel dieser Untersuchung auf 4,5 % und der der Grassilagen auf 9,0 % je Kilogramm TS_k . Nach PAHL (1987) sind die ermittelten Werte akzeptabel und sortentypisch.

6.5 Gas- und Methanbildungsvermögen von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen-, Gras- und Maissilagen im Bezug auf die Trockensubstanz und die korrigierte Trockensubstanz

Bei der parallelen Betrachtung wie viel Biogas und Methan theoretisch aus einem Kilogramm der Trockensubstanz zu erhalten wäre, ergab sich im Mittel aller untersuchten erntefrischen Futterrüben gegenüber den Zuckerrüben ein Mehrertrag von 3,3 %. Bei den verschiedenen Sorten ist in den Varianten ohne Blatt stets mehr Biogas zu verzeichnen. So erreicht die Futterrübe Kyros mit 615 Liter und die Zuckerrübe Belladonna mit 587 Liter das höchste Gasbildungsvermögen.

Bei den silierten Rüben wird unter Einbeziehung aller Korrekturen im Mittel der Zuckerrüben gegenüber den Futterrüben ein Mehrertrag von 4,2 % erreicht. Auch hier wird bei den Rübenarten ohne Blatt im Durchschnitt der Proben mehr Biogas erzeugt. Die höchste Gasbildung vollzieht die Futterrübe Kyros mit 637 l/kg TS_k und die Zuckerrübe Belladonna mit 664 l/kg TS_k . Die Gersten - GPS stellte sich im Mittel der Untersuchung mit einem Gasbildungsvermögen von 549 l/kg TS_k und die Grassilage des 2. und 3. Schnittes mit 489 l/kg TS_k dar.

Im Vergleich zu Maissilage mit 660 l/kg TS_k , erreichen silierte Zuckerrüben im Mittel der Untersuchungsergebnisse der Jahre 2010 und 2011 mit 559 l/kg TS_k eine gleichwertige Gasbildung. In Bezug auf die Trockensubstanz bzw. korrigierte Trockensubstanz, liegen alle anderen Kulturen unter bzw. weit unter dem Gasbildungsvermögen von Mais.

Zu Angaben bzw. Richtwerten für die Gasausbeute aus Substraten fallen die erhobenen Gaserträge insgesamt geringer aus. Demnach müsste nach Angaben des KTBL (2005) und unter Einbeziehung des Fermentierquotienten nach WEISSBACH (2011), aus einem Kilogramm der Trockensubstanz einer frischen Zuckerrübe, mehr als 700 l Biogas entstehen. Und somit auch mehr als bei Mais. Für Futter- bzw. Zuckerrübensilage ist nach den Richtwerten DÖHLER et al. (2009) der gleiche Wert anzunehmen.

Die Gasausbeute der Gersten-GPS liegt im Vergleich zu den Angaben des KTBL (2005) und DÖHLER et al. (2009), welche mit 520 - 620 l/kg oTS angegeben werden, in einem akzeptablen Bereich. Für Grassilagen werden in der genannten Literatur Biogaserträge von ca. 600 l/kg oTS angegeben. Diesen Wert erreicht der 2. und 3. Schnitt nicht, würde aber mit der zum Vergleich stehenden Grassilage des 1. Schnittes (Kapitel 5.1) erfüllt werden.

Wird zur Gegenüberstellung der Gasbildung je Kilogramm Trockensubstanz die Betrachtung des Gas- und Methanbildungsvermögens **der Trockensubstanz eines Hektar** hinzugezogen, ist folgendes festzustellen:

Der gesamte Trockensubstanzertrag sorgt dafür, dass sich die Futterrübensilagen in beiden Varianten deutlich von den anderen Kulturen abgrenzen. Mit einem Unterschied von 4,4 % zur Variante ohne Blatt, verzeichnen die Futterrüben im Mittel der Untersuchungsergebnisse bei 13225 m³/ha die höchste Gasbildung. Die Sorte Kyros erreicht hierbei sogar eine Gasbildung von 13430 m³/ha. Im Vergleich zu Mais mit 9760 m³/ha, erreichen die erntefrischen Futterrüben im Durchschnitt der Varianten bei 9650 m³/ha einen etwas niedrigeren Gasertrag. Die höchste Gasmenge erreicht hier die Sorte Kyros ohne Blatt mit 9833 m³/ha, welche die Gasbildung von Mais wiederum übertrifft. Wird die Futterrübe also mit Rübenblatt einsiliert, können theoretisch 35 % mehr Biogas je Hektar als bei Maissilage erzeugt werden.

Die Zuckerrübensilagen verzeichnen gegenüber Mais 27 % weniger Biogas je Hektar. Hier wird im Durchschnitt der Variante ohne Blatt mit 7175 m³/ha die höchste Gasbildung erreicht. Die Sorte Belladonna verzeichnet mit 7634 m³/ha dabei das größte Gasbildungsvermögen. Bei den erntefrischen Zuckerrüben erreicht die Variante mit Blatt im Mittel bei 6330 m³/ha die höchste Gasbildung, wobei die Sorte Lukas mit 6740 m³/ha theoretisch das meiste Gas produziert.

Mit einer geringeren Gasbildung von 44 Prozent zu Mais folgen die Gersten-GPS mit 5490 m³/ha, wobei die Sorten untereinander nur geringe Unterschiede aufweisen. Die Grassilagen vom 2. und 3. Schnitt erreichen mit etwa 2300 m³ Biogas je Hektar das geringste Gasbildungspotenzial in dieser Untersuchung. Im Vergleich mit einer Hochrechnung der Biogasausbeuten der KTBL (2005) und DÖHLER et al. (2009) auf einen Hektar, verfehlen die untersuchten Futter- und Zuckerrüben und deren Silage, Getreide-GPS und Grassilage des 2. und 3. Schnittes die möglichen Ausgangswerte um ca. 1500 bis 2000 m³ Biogas je Hektar.

Zwar verfügen Zuckerrüben und Mais das höchste Gasbildungspotenzial je kg TS_k, dennoch zeigt der Vergleich durch die Trockenmasseerträge je Hektar, dass silierte Futterrüben mit und ohne Blatt ein höheres Gasbildungspotenzial aufweisen.

7. Schlussfolgerung

Die erntefrischen und silierten Futter- und Zuckerrüben schneiden in Art und Variante mit recht gleichmäßigen Ergebnissen im Gasbildungsvermögen je Kilogramm TS_k ab. Dennoch ergeben sich durch verschiedene Hektarerträge größere Unterschiede. Bei den frischen Futterrüben hebt sich Kyros ohne Blatt besonders von den anderen Sorten hervor. Bei den frischen Zuckerrüben ist es die Sorte Belladonna ohne Blatt. Für einen höheren Gasertrag und einer längeren Nutzung, sollten Rüben aber einsiliert werden. Bei der Bewertung der Futter- und Zuckerrübensilagen schneiden die Futterrüben mit Blatt mit einem deutlich höheren Gasertrag je Hektar ab als die der Zuckerrüben. Auch hier erreichten die Futterrübe Kyros mit Blatt und die Zuckerrübe Belladonna ohne Blatt die höchsten Gaserträge je Hektar. Im Vergleich zu Mais erreichen also nur frische und silierte Futterrüben mit und ohne Blatt ein höheres Gasbildungsvermögen je Hektar.

Mit einem durchschnittlich hohen Gasbildungsvermögen zeigt sich auch die zum Vergleich stehende Grassilage des 1. Schnittes (Kapitel 5.1, 5.2), welche sich durch ihr Potenzial zwischen den Zuckerrüben und der Getreide-GPS platziert. Weil Grassilagen des 1. und 2. Schnittes wertvolle Futtermittel in der Tierproduktion darstellen, ist deren alleiniger Einsatz in Biogasanlagen aber als kritisch anzusehen. Bei der Gegenüberstellung der Getreidesorten ergibt sich, dass bei Roggen-GPS (Kapitel 5.1, 5.2) gegenüber Gerste - GPS nur ein geringer Mehrertrag an Biogas zu

erwarten ist. Im Vergleich zu Mais erreichen Getreide-GPS ca. 56 % der Gasbildung. Auch hier sollte der Einsatz von Getreide für Biogas ein begrenztes Mittel sein und hauptsächlich der Futter- und Nahrungsmittelherstellung dienen.

Wesentlich unter der Gasbildung von Getreide - GPS liegt die Grassilage vom 2. und 3. Schnitt, welche zu Mais ca. nur noch ein Viertel der Gasmenge je Hektar erreicht. Der weitaus geringere Gasertrag gegenüber Mais und den anderen Kulturen lässt darauf schließen, dass sich die Verwendung von Grassilagen des 2. und 3. Schnittes als unwirtschaftlich erweisen würde.

Abschließend ist festzustellen, dass frische und silierte Futterrüben mit und ohne Blatt ein höheres Gasbildungsvermögen je Hektar aufweisen als Mais. Die erntefrischen bzw. silierten Zuckerrüben mit und ohne Blatt sowie Getreideganzpflanzensilage oder Grassilage unterschiedlicher Schnitte können die Maissilage als Substrat für die Biogasgewinnung nicht ersetzen. Dennoch ist die Anwendung der einzelnen Kulturen durch spezifische Eigenschaften in reiner Form oder in Mischsilagen möglich und stellen dadurch ein hervorragendes Substrat für Biogasanlagen dar.

Um direkt auf sortenabhängige Merkmale von Rüben, Getreideganzpflanzensilage und Grassilage einzugehen und Aussagen zu treffen, müssen weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Bei Zuckerrüben muss nochmals untersucht werden, ob sie mit oder ohne Blatt zum Einsatz kommen sollten. Ebenfalls sollten bei einem weiteren Vergleich zur Gasbildung aus Getreide-GPS zukünftig weitere Getreidearten hinzugezogen werden.

8. Zusammenfassung

Die steigende Anzahl von Biogasanlagen zur Energiegewinnung führte dazu, dass derzeit etwa 7500 Anlagen in Deutschland in Betrieb genommen wurden. Für einen großen Zuwachs sorgten der kurzfristige Atomausstieg und die allgemeine Förderung von erneuerbaren Energien. Da aus Mais hohe Biogaserträge gewonnen werden können, nahm auch der Anbau dieser Kultur immer mehr zu. Um zukünftig den wachsenden Anbau von Mais zu reduzieren, ist es notwendig alternative Kulturen zu finden. In der vorliegenden Arbeit soll herausgefunden werden, über welches Gasbildungsvermögen erntefrische und silierte Futter- und Zuckerrüben sowie

Getreideganzpflanzensilagen und Grassilagen gegenüber Maissilagen verfügen. Weiterhin gilt es herauszufinden, ob beim Einsatz von Rüben für die Biogasgewinnung eine Anwendung mit oder ohne Blatt erfolgen sollte. Für diese Arbeit wurden vier Futterrüben- und fünf Zuckerrübensorten am 11.10.2011 mit der Hand gerodet und zu einer erntefrischen sowie zu einer silierten Probe mit und ohne Blatt verarbeitet. Ebenfalls wurden zwei Gerstensorten unter Laborbedingungen einsiliert. Die verwendeten Grassilagen wurden jeweils frisch aus dem Silo entnommen und für die Datenerhebung zeitnahe im Labor verarbeitet. Von jeder verwendeten Kultur wurden die Gehalte an Trockensubstanz, Rohfaser und Rohasche ermittelt. Bei den Rüben wurden zusätzlich die Gehalte an Milchsäure, Essigsäure und Ethanol erhoben.

Mit den Regressionsgleichungen nach WIESSBACH (2008a - d, 2011) ist es möglich, dass Biogas- und Methanbildungsvermögen von Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage zu bestimmen. Hierbei beruhen die Berechnungen auf der tatsächlich fermentierbaren Trockensubstanz. Dies ermöglicht eine Vorhersage, ob die Anwendung eines bestimmten Substrates für die Energiegewinnung in Biogasanlagen sinnvoll ist. Unter Anwendung der Formeln und Beachtung der flüchtigen Gärprodukte von Silagen nach WEISSBACH (2008a-d, 2009), konnte das Gasbildungspotenzial für Futter- und Zuckerrüben, Getreideganzpflanzen- und Grassilage bestimmt werden. Das theoretische Gasbildungsvermögen aus dieser Untersuchung wurde dann mit Werten anderer Untersuchungen der Jahre 2008 bis 2010 verrechnet und anschließend mit Ergebnissen von Maissilage der Jahre 2006 bis 2011 gegenübergestellt.

Im Vergleich zu Maissilage ergab sich, dass erntefrische und silierte Futterrüben mit und ohne Blatt, sogar ein höheres Gasbildungspotenzial je Hektar aufweisen. Da der Blattapparat der Futterrübe das Gasbildungspotenzial je Hektar positiv beeinflusst, sollte bei der Gasgewinnung darauf nicht verzichtet werden. Zuckerrüben verzeichnen durch einen geringeren Biomasseertrag je Hektar einen weitaus geringeren Gasertrag als Futterrüben und liegen somit auch unter der Gasbildung von Mais. Beim Vergleich der Sorten kann der Futterrübe Kyros und der Zuckerrübe Belladonna eine Überlegenheit zugewiesen werden. Hinter den Zuckerrüben erreicht Getreide-GPS einen mittleren Gasertrag. Das geringste Gasbildungspotenzial weisen die Grassilagen vom 2. und 3. Schnitt auf.

Literaturverzeichnis

- AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN: Erneuerbare Energien in der europäischen Union, letztes Update: 13.06.2012,
<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/politik/europaeische-union.html>
- BUNDESUMWELTMINISTERIUM (BMU):
Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011, Grafiken und Tabellen, Stand: März 2012, letztes Update: 13.06.2012,
http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf
- BUNDESSORTENAMT: Beschreibende Sortenliste 2011, letztes Update: 20.06.2012,
http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/bsl_getreide_2011.pdf
- BUNDESAMT FÜR ERNÄHRUNGSSICHERHEIT: Österreichische Beschreibende Sortenliste 2012, letztes Update: 20.06.2012,
<http://www.baes.gv.at/pflanzensorten/oesterreichische-beschreibende-sortenliste/beta-rueben/futterruebe/>
- DAVIDS, K. (2010), „Weltenergiebedarf 2050“, Homepage Kurt Davids, letztes Update: 13.06.2012,
<http://www.kurt-davids.de/images/weltenergiebedarf.jpg>
- DEININGER, A. (1995): Dissertation – Flüssig konservierte Beta-Rüben in der Rinderfütterung - Verfahrenstechniken und Leistungsfähigkeit, Universität Hohenheim – Institut für Agrartechnik
- DEUTSCHES MAISKOMITEE e.V. (2012): Mehr Mais nach Auswinterungsschäden beim Getreide, News 05/2012, letztes Update: 29.06.2012,
<http://www.maiskomitee.de/web/intranet/news.aspx?news=ec7d773d-653c-4931-b6ba-bd6bd960c2e7>
- DILGER, M. (2006): Materialsammlung Futterwirtschaft - Daten, Fakten und Berechnungsgrundlagen zu den Kosten der Grundfuttererzeugung und der Futterwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 4. Auflage Juli / 2006, letztes Update: 23.06.2012,
http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_22478.pdf
- DÖHLER et al. (2009): Faustzahlen Biogas, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2. Auflage, S. 94
- FACHVERBAND BIOGAS e.V. (2012): Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012/2013, letztes Update: 03.07.2012,
[http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/12-11-29_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/12-11-29_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf)

- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (FNR 2011):
Leitfaden Biogas 2011 – „Basisdaten Bioenergie Deutschland“,
Stand: September 2011, Informationsbroschüre der Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V. (FNR 2012): „Biomethan“,
Informationsbroschüre der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- FAL, IE, UNI ROSTOCK (2007): Schlussbericht zum Forschungsvorhaben –
„Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen,
Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft“,
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft; Institut für Energetik; Universität
Rostock, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2007, letztes Update:
07.07.2012
<http://www.energieeffizient-sanieren.org/data/Biogaserzeugung-durch-Trockenvergaerung-2.pdf>
- GESETZ FÜR DEN VORRANG ERNEUERBARER ENERGIEN:
Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2012, ab 1. Januar 2012 geltende
Fassung, letztes Update: 02.07.2012
http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/e/e/eeg_2012.pdf
- JÄNICKE, H. (2011): Grobfutter- und Substraterzeugung, Praxishandbuch – Futter-
und Substratkonservierung, DLG-Verlag, 8. Auflage 2011
- KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H.; HOFBAUER, H. (2009):
Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer
Verlag, 2. Auflage, S. 1 – 11
- KTBL - Arbeitsgruppe (2005): Biogaserträge, Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Heft 50, S. 11 - 15
- KWS (2009): Biogaspotenziale der Rübe nutzen – Technische Ansätze aus der
Praxis, Informationsbroschüre der KWS Saat AG, S. 12 – 15
- LANDWIRTSCHAFTLICHE FACHBEHÖRDE M-V (2007): Rahmenempfehlung für
die Stickstoffdüngedbedarfsermittlung nach Schätz- und
Berechnungsverfahren, Fachinformation der LMS, DüV- Umsetzung 2007/2-1,
letztes Update: 26.07.2012,
http://www.lms-beratung.de/upload/59/1172479126_1902_87788.pdf
- MÄRLÄNDER et al. (2010): Biomasse-Rüben – die Zuckerrübe als Biogassubstrat,
DLG e.V. – Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft,
DLG - Merkblatt 363, 1. Auflage, Stand 29.09.2010, letztes Update:
12.07.2012,
http://statictypo3.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_363.pdf

- PAHL, H. (1987): Weidelgras- und Ganzpflanzensilagen – Alternativen zur Maissilagemasst, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), KTBL-Schrift 316, S. 14 – 28
- PFITZNER et al. (2010): Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaros) mit der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS), Journal für Kulturpflanzen 62. 2010, S. 451 - 460
- RICHEY, M. (2010): Energie für neues Denken, Biowasserstoff- Magazin, 18. Ausgabe 15. März 2010, letztes Update: 29.06.2012
http://biowasserstoff-magazin.richey-web.de/pdf/Magazin_2010_18_100415.pdf
- SAATEN-UNION (2010a): Wintergetreide 2010/2011 - Regionalempfehlung Ostdeutschland, Informationsbroschüre der Saaten-Union, Stand Mai 2010
- SAATEN-UNION (2010b): Leitfaden fürs Grünland, Informationsbroschüre der Saaten-Union, S. 7 - 23
- SCHULTZ, H: Untersuchung über die Lagerung geköpfter und ungeköpfter Futterrüben, Das wirtschaftseigene Futter, Sonderheft 2, 1964, S. 44-57
- STATISTISCHES AMT MECKLENBURG VORPOMMERN – SIS Online Datenbank: Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten 2010, letztes Update: 20.08.2012
http://sisonline.statistik.mv.de/sachgebiete/C241211K/stand/13/Hektarertraege_ausgewaehlder_landwirtschaftlicher_Fruchtarten
- STEINGASS, H. (2009): Zuckerhaltige Futtermittel, Universität Hohenheim - Modul Angewandte Futtermittelkunde, letztes Update: 28.07.2012
https://www.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/tierernaehrung/skripte/4502-210/FMK2009_Zucker.pdf
- THAYSEN, J. (2011): Qualität -Grassilage – vom Feld bis in den Trog AID Infodienst - Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V., 2. veränderte Neuauflage, AID 1563/2011, S. 7 - 14 und 23 - 46
- TRACHSLER, G (2011): Getreide-Ganzpflanzensilage, Schweizerische Vereinigung für Silowirtschaft (SVS / ASE), Auflage: 3 700 April 2011, S. 1 - 4, letztes Update: 20.06.2012,
http://www.silovereinigung.ch/svs_publicationen/pdf/Silo%20Zytig%2088%20April%202011.pdf
- UNITED NATIONS ORGANISATIONS (2007): UNO-Prognose für 2050 – Spiegel Online, März 2007, letztes Update: 29.06.2012,
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/uno-prognose-fuer-2050-weltbevoelkerung-waechst-und-altert-im-eiltempo-a-471511.html>

- WENDT, S. (2011): Studienarbeit – „Untersuchungen zum Gasbildungsvermögen verschiedener Zucker- und Futterrübensorten im Vergleich zu Mais“, Hochschule Neubrandenburg – Fachbereich Agrarwirtschaft
- WEISSBACH, F. und STRUBELT, C. (2008a): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Grassilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63 (2008), H.4, 210-211
- WEISSBACH, F. (2008b): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik 63 (2008), H.6, 356-358
- WEISSBACH, F. (2008c) Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen, Landtechnik 63 (2008), H.2, 2-3
- WEISSBACH, F. (2008d) Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Zuckerrübensilagen als Substrat für Biogasanlagen, Landtechnik 6 (2008), 354-355
- WEISSBACH, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung, Landtechnik 64, H. 5 (2009), 317-321
- WEISSBACH, F. (2011): Das Gaspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung, Beiträge des IBZ Hohen Luckow e.V., 18 (2011) 1, 7-18

Anhang

Nährstoffgehalte, Fermentierbare organische Trockensubstanz, Biogas- und Methangehalte erntefrischer Futter- und Zuckerrüben

Ergebnisse	TS	XF	XA	FoTS	Biogas	Methan
Probe	g/kg	g/kg TS	g/kg TS	g/kg TS	l/kg TS	l/kg TS
Futterrübe ohne Blatt						
Jary	162,36	53,54	87,37	789,99	592,49	296,24
Kyros	153,67	49,82	64,04	819,39	614,54	307,27
Ribambelle	156,80	48,32	77,04	804,20	603,15	301,57
Futterrübe mit Blatt						
Jary	154,22	59,33	97,57	785,47	589,10	294,55
Kyros	152,37	59,11	109,08	775,26	581,45	290,72
Ribambelle	158,51	55,87	102,71	777,33	583,00	291,50
Zuckerrübe ohne Blatt						
Klaxon	224,65	42,32	62,22	771,53	578,64	289,32
Belladonna	220,97	43,68	53,96	782,36	586,77	293,38
Mars	233,98	44,91	63,38	763,83	572,87	286,44
Lukas	240,77	42,26	77,72	744,73	558,55	279,28
Balade	220,22	46,44	68,11	768,74	576,55	288,28
Zuckerrübe mit Blatt						
Klaxon	217,63	43,99	67,91	770,75	578,06	289,03
Belladonna	202,52	52,48	81,84	767,40	575,55	287,77
Mars	222,00	54,39	87,12	748,48	561,36	280,68
Lukas	203,68	57,62	70,69	777,74	583,30	291,65
Balade	189,45	55,33	94,09	764,29	573,22	286,61

TS_n, TS_k, TS_k/TS_n-Quotient der Futter- und Zuckerrübensilagen

Proben	TS _n g/kg FM	TS _k g/kg FM	Quotient aus TS _k /TS _n
Futterrüben ohne Blatt			
Jary	179,11	196,07	1,09
Kyros	185,83	212,86	1,15
Ribambelle	173,44	201,90	1,16
Futterrüben mit Blatt			
Jary	176,26	202,13	1,15
Kyros	182,07	213,38	1,17
Ribambelle	159,44	179,62	1,13
Zuckerrüben ohne Blatt			
Klaxon	207,32	213,20	1,03
Belladonna	199,13	205,70	1,03
Mars	251,20	256,30	1,02
Lukas	228,35	233,90	1,02
Balade	209,52	216,10	1,03
Zuckerrüben mit Blatt			
Klaxon	202,25	207,20	1,02
Belladonna	192,10	199,80	1,04
Mars	202,53	207,10	1,02
Lukas	205,98	211,00	1,02
Balade	204,64	209,00	1,02

FoTS, Biogas- und Methanbildungsvermögen und durchschnittlicher Gärverlust der
Futter- und Zuckerrübensilagen

Proben	FoTS g/kg TS	Biogas l/kg TSk	Methan l/kg TSk	Ø Gärverlust in %
Futterrüben ohne Blatt				
Jary	837,20	628,22	314,47	4,8
Kyros	848,90	636,91	318,77	0,6
Ribambelle	847,40	635,82	318,24	0,9
Futterrüben mit Blatt				
Jary	795,90	597,33	299,19	1,2
Kyros	813,50	610,51	305,73	1,1
Ribambelle	794,00	595,61	297,94	1,5
Zuckerrüben ohne Blatt				
Klaxon	859,30	644,75	322,73	2,3
Belladonna	884,80	663,81	332,21	2,5
Mars	858,50	644,09	322,32	1,8
Lukas	871,20	653,44	326,78	0,9
Balade	873,50	655,30	327,88	1,5
Zuckerrüben mit Blatt				
Klaxon	866,80	650,16	325,16	1,5
Belladonna	844,70	633,95	317,50	1,3
Mars	854,70	641,09	320,59	0,8
Lukas	830,10	622,63	311,38	1,0
Balade	835,70	626,85	313,48	1,3

Essigsäure-, Milchsäure-, Ethanolgehalte der Futter- und Zuckerrübensilagen

Proben	Essigsäuregehalt g/kg FM	Milchsäuregehalt g/kg FM	Ethanolgehalt g/kg FM
Futterrüben ohne Blatt			
Jary	6,71	8,75	1,58
Kyros	5,61	19,73	1,37
Ribambelle	7,23	19,56	1,44
Futterrüben mit Blatt			
Jary	6,91	16,51	2,30
Kyros	7,55	21,40	2,09
Ribambelle	7,60	12,01	0,59
Zuckerrüben ohne Blatt			
Klaxon	2,77	20,52	1,56
Belladonna	3,84	20,25	1,34
Mars	3,30	9,77	1,17
Lukas	3,83	20,20	0,25
Balade	3,09	32,50	1,03
Zuckerrüben mit Blatt			
Klaxon	3,99	10,92	0,24
Belladonna	3,63	25,29	2,27
Mars	3,56	11,82	0,22
Lukas	3,98	12,22	0,28
Balade	3,41	10,60	0,25

TS_n, TS_k, korrigierter Rohasche- und Rohfasergehalt, FoTS, Biogas und Methanbildungsvermögen der Gersten-Ganzpflanzsilagen

Gersten - GPS	TS _n g/kg FM	TS _k g/kg FM	XA _{korrr} g/kg TS	XF _{korrr} g/kg TS	FoTS g/kg TS	Biogas l/kg TS _k	Methan l/kg TS _k
Metaxa	307	323,9	51,38	289,65	689,97	551,98	289,79
Suleika	425	438,0	41,22	310,45	682,53	546,03	286,66

TS_n, TS_k, korrigierter Rohaschegehalt, EulOS, FoTS, Bigas- und Methanbildungsvermögen von Grassilage

Proben 2011	TS _n g/kg FM	TS _k g/kg FM	XA _{korr} g/kg TS	EulOS _{korr} g/kg TS	FoTS g/kg TS	Biogas l/kg TS	Methan l/kg TS
1	437,8	450,86	75,68	436,59	611,51	489,21	256,83
2	371,2	386,27	96,98	342,17	664,99	531,99	279,30
3	265,6	283,79	89,42	281,78	718,33	574,67	301,70
4	457,7	470,21	87,13	498,45	548,93	439,14	230,55
5	356,8	372,26	100,69	385,24	627,66	502,13	263,62
6	406,7	420,71	76,56	515,96	544,71	435,77	228,78
7	336,3	352,45	148,59	480,94	502,11	401,69	210,89
8	317,6	334,23	119,90	483,41	528,73	422,99	222,07
9	253,9	272,50	91,75	344,59	668,36	534,69	280,71
10	336,7	352,80	95,84	462,68	569,99	455,99	239,40
11	608,1	616,09	91,04	550,47	500,70	400,56	210,30

TS_n, TS_k, XA_{korr}, XF_{korr}, FoTS, Biogas und Methanbildungsvermögen der Maissilagen

Maissilagen n = 77	TS _n g/kg FM	TS _k g/kg FM	XA _{korr} g/kg TS	XF _{korr} g/kg TS	FoTS g/kg TS	Biogas l/kg TS _k	Methan l/kg TS _k
2006	332,56	350,40	45,31	204,13	799,09	639,27	335,62
2007	316,80	334,90	38,40	206,00	803,93	643,14	337,65
2008	345,40	363,00	34,40	187,80	824,21	659,37	346,17
2009	357,03	372,70	31,10	177,00	836,84	669,47	351,47
2010	358,50	375,83	30,06	164,96	848,11	678,48	356,20
2011	384,13	400,95	27,19	179,38	837,95	670,36	351,94

Biogasbildungsvermögen der frischen und silierten Futter- und Zuckerrüben

Proben	Ertrag TS Rübe frisch	Biogas je ha	Ertrag TS _k Rübe siliert	Biogas je ha
	t/ha	Rübe frisch	t/ha	Rübe siliert
Futterrüben ohne Blatt				
Jary		9480		12565
Kyros	16,5	9833	20	12738
Ribambelle		9650		12716
Futterrüben mit Blatt				
Jary		9720		13141
Kyros	16,5	9594	20	13431
Ribambelle		9616		13103
Zuckerrüben ohne Blatt				
Klaxon		6654		7092
Belladonna		6748		7302
Mars	11,5	6588	11	7085
Lukas		6423		7188
Balade		6630		7208
Zuckerrüben mit Blatt				
Klaxon		6677		7152
Belladonna		6648		9673
Mars	11,5	6484	11	7052
Lukas		6737		6849
Balade		6621		6895

Biogasbildungsvermögen der Gerstenganzpflanzensilagen, Grassilagen und Maissilagen

Proben	Ertrag TSk t/ha	Biogas je ha
Gersten-GPS		
Metaxa		6072
Soulyka	11	6006
Grassilage (2. und 3. Schnitt)	4,9	2311
Maissilagen	14,8	9760

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel verfasst habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift