

# Methanertragsmessung von Sorghumhirsen



# Methanertragsmessung mit dem Hohenheimer Biogasertragstest zur Bewertung der Methanproduktion von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais

Dr. Kerstin Jäkel, Karen Pöttschke  
unter Mitarbeit von Markus Theiß

<b>1</b>	<b>Einleitung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>8</b>
2.1	Versuche und deren Standorte.....	8
2.1.1	Sortenversuche.....	8
2.1.2	Sortenversuch Zwischenschnitt.....	10
2.1.3	Saatzeitenversuch.....	11
2.1.4	Düngungsversuch.....	11
2.1.5	Praxisbetrieb: Biogasanlage Rackwitz.....	11
2.2	Proben- und Untersuchungsumfang.....	12
2.2.1	Pflanzenanalytik.....	12
2.2.2	Biogasbildungspotenzial.....	12
2.3	Probenahme und -aufbereitung.....	14
2.4	Methoden zur Bestimmung der Substratqualität.....	18
2.5	Bestimmung des Biogaspotenzials.....	20
2.5.1	Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009) (Theoretischer Methanertrag).....	20
2.5.2	Methode: Hohenheimer Biogasertragstest (HBT).....	21
2.5.3	Durchführung der Methode im LfULG.....	23
2.5.4	Phasen der Biogasentstehung:.....	23
2.5.5	Teilnahme am Ringversuch Biogas, Plausibilität und Qualitätssicherung.....	24
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>25</b>
3.1	Bestimmung der Pflanzeninhaltsstoffe.....	25
3.1.1	Makronährstoffe.....	25
3.1.2	Rohnährstoffe.....	29
3.2	Bestimmung der Silagequalität.....	31
3.3	Biogasbildungspotenzial – mathematischer Ansatz nach WEISSBACH.....	33
3.4	Gemessene Methanausbeuten Sortenversuch – Häckselgut.....	35
3.5	Gemessene Methanausbeuten Sortenversuch – Silage.....	37
3.6	Auswertung der gemessenen Methanausbeuten.....	38
3.7	Vergleich der Methoden zur Bestimmung des Biogasbildungspotenzials.....	45
3.8	Sortenversuch: Zwischenschnitt.....	46
3.9	Saatzeitenversuch.....	51
3.10	Düngungsversuch.....	54
3.11	Praxisbetrieb Biogasanlage Rackwitz.....	55
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>59</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>60</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Von der Probenahme zum Beratungspapier (Poster).....	15
Abbildung 2:	Von der Herstellung über die Lagerung bis zur Öffnung und Dokumentation einer Silage.....	17
Abbildung 3:	Futtermittelanalyse nach verschiedenen Verfahren.....	20
Abbildung 4:	Aufbau der Biogasanlage Hohenheimer Biogasertragstest (HBT).....	22
Abbildung 5:	Aufbau Fermenter des HBT (Schema eines Kolbenprobers) .....	22
Abbildung 6:	Phasen der Biogasetstehung (Schema) .....	24
Abbildung 7:	Gehalte und Entzüge an Stickstoff, Phosphor und Kalium bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre).....	27
Abbildung 8:	Gehalte und Entzüge an Magnesium, Calcium und Schwefel bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre).....	28
Abbildung 9:	Methanausbeute von Mais, Sudangrashybride, Futter- und Körnersorghum in den Anbauregionen im Mittel der Jahre 2011–2013 (berechnet nach WEISSBACH).....	34
Abbildung 10:	Methanausbeute von Mais, Sudangrashybride, Futter- und Körnersorghum in Abhängigkeit von Anbauregion und Jahr (berechnet nach WEISSBACH).....	34
Abbildung 11:	Vergleich der geprüften Mais und Sorghumsorten hinsichtlich Methanausbeute (berechnet nach WEISSBACH).....	35
Abbildung 12:	Spezifische Methanerträge, Trossin .....	38
Abbildung 13:	Summierter spezifischer Norm-Methanertrag.....	39
Abbildung 14:	Streuung der spezifischen Methanerträge für Maissilage .....	40
Abbildung 15:	Streuung der spezifischen Methanerträge für Sudangrashybridsilage .....	40
Abbildung 16:	Streuung der spezifischen Methanerträge für Futterhirsesilage .....	41
Abbildung 17:	Spezifischer Methanertrag für Körnerhirsesilage (2012) .....	41
Abbildung 18:	Methanertrag in Abhängigkeit von der Sorghumsorte im Jahr 2011 .....	42
Abbildung 19:	Methanertrag in Abhängigkeit von der Sorghumsorte im Jahr 2012.....	43
Abbildung 20:	Methanertrag in Abhängigkeit vom Standort in den Jahren 2011 und 2012.....	44
Abbildung 21:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin .....	48
Abbildung 22:	Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin .....	48
Abbildung 23:	Methanausbeuten der Sorghumsorten Lussi und Zerberus in Abhängigkeit vom Erntetermin am Standort Trossin .....	48
Abbildung 24:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin .....	50
Abbildung 25:	Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin.....	50
Abbildung 26:	Methanausbeuten der Sorghumsorten Lussi und Zerberus in Abhängigkeit vom Erntetermin am Standort Straubing.....	50
Abbildung 27:	Summierter spezifischer Norm-Methanertrag.....	51
Abbildung 28:	BBCH-Stadium und TS-Gehalt von Mais und Sorghum zur Ernte in Abhängigkeit vom Saattermin (Standort- und Sortenmittel, 2011–2013) .....	52
Abbildung 29:	Beziehung zwischen Trockenmasseertrag, Methangasausbeute und den Roh Nährstoffen bei der Sudangrashybridsorte Lussi (Straubing 2012) .....	53
Abbildung 30:	Beziehung zwischen Trockenmasseertrag, Methangasausbeute und den Roh Nährstoffen bei Mais (Straubing 2012).....	54

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standorte der Sortenversuche mit Prüfung im HBT .....	9
Tabelle 2:	Prüfsortiment der Sortenversuche im HBT .....	9
Tabelle 3:	Schnittzeitpunkte und Entwicklungsstadien der Pflanzen im Zwischenschnittversuch zur Ermittlung der Biogasausbeute .....	10
Tabelle 4:	Termine, Wärmesummen und Niederschläge am Standort Straubing 2012 - Saatzeitenversuch (nach HARTMANN, TFZ Straubing) .....	11
Tabelle 5:	Proben- und Untersuchungsumfang für die Bestimmung der Substratqualität bzw. der Pflanzeninhaltsstoffe .....	13
Tabelle 6:	Proben- und Untersuchungsumfang für die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials .....	14
Tabelle 7:	Angewandte VDLUFA-Analysenmethoden .....	18
Tabelle 8:	Nahinfrarotspektroskopie – mittlere Kalibrationsdaten für Sorghum .....	19
Tabelle 9:	Mittlere Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen bei Mais und Sorghum – Sortenversuch 2011–2013 (Standort- und Sortenmittel) .....	29
Tabelle 10:	Korrelationsmatrix Inhaltsstoffe und Methanausbeute .....	30
Tabelle 11:	Beurteilung der Silagequalität inklusive Mikrobiologie .....	32
Tabelle 12:	Gemessene Methanausbeuten (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) im Häckselgut (2011–2013) .....	36
Tabelle 13:	Auswertung der gemessenen Methanausbeuten (HBT) im Häckselgut (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011–2013) .....	36
Tabelle 14:	Gemessene Methanausbeuten (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) in der Silage (2011–2013) .....	37
Tabelle 15:	Auswertung der gemessenen Methanausbeuten (HBT) in der Silage (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011–2012) .....	38
Tabelle 16:	Vergleich der gemessenen und berechneten Methanausbeuten .....	45
Tabelle 17:	Einfluss des Saattermins auf die Methanausbeute und Inhaltsstoffzusammensetzung .....	52
Tabelle 18:	Einfluss des Rohproteingehaltes auf die Methanausbeute der Sorte Lussi am Standort Straubing 2012 .....	55
Tabelle 19:	Erträge und Methanausbeuten im Praxisbetrieb .....	56

## Abkürzungsverzeichnis

$aNDF_{om}$	(neutral detergent fibre) amylosebehandelte Neutral-Detergenzien-Faser, asche-frei, Definition: Summe der Gerüstsubstanzen einer Pflanze; Amylasen sind Enzyme, welche Polysaccharide (wie Stärke) an den Glykosidbindungen spalten und abbauen
$ADF_{om}$	(acid detergent fibre) Säure-Detergenzien-Faser, aschefrei Definition: Gerüstsubstanz ohne Hemicellulose
ADL	(acid detergent lignin) Säure-Detergenzien-Lignin, Definition: ADF-Anteil ohne Cellulose
ATB	Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim
BBCH	Zahlenwert, gibt das Entwicklungsstadium einer Pflanze wieder
Bd.	Band
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
$CH_4$	Methan
D-Nord	diluviale Böden Nord (Norddeutschland)
D-Süd	diluviale Böden Süd (Ostdeutschland)
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
ELOS	enzymlösliche organische Substanz
FH	Futterhirsetyp (Sorghum bicolor)
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FoTS	fermentierbare organische Trockensubstanz
HBT	Hohenheimer Biogasertragstest
K	Rekultivierungsstandort
k. A.	kein Anbau
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LTS	Lufttrockensubstanz (bei 60°C getrockneter Probe)
max.	maximal
NI	Normliter
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
oTS	organische Trockensubstanz
RA, XA	Rohasche
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
Rfa, XF	Rohfaser
Rfe, XL	Rohfett
RP, XP	Rohprotein
RZ	Reifezahl
SGH	Sudangrashybrid (Sorghum sudanense x Sorghum bicolor)
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TS	Trockensubstanz (auch als Trockenmasse – TM bezeichnet)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
XZ	Gesamtzucker

# 1 Einleitung und Aufgabenstellung

Der Anbau von Energie- und Rohstoffpflanzen hat sich in den letzten 20 Jahren enorm entwickelt. Immer mehr Rohstoffe für die Ernährung, die Energieerzeugung und die stoffliche Verarbeitung werden weltweit benötigt. Dabei bekommen in den nächsten Jahren Aspekte der Nachhaltigkeit, der Effizienz und der umweltverträglichen Erzeugung deutlich mehr Bedeutung als bisher.

Die wichtigste Energiepflanze für die Biogaserzeugung ist der Mais. Auf Grund seines hohen Ertrages und seiner guten Vergärbarkeit besitzt er auch bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sehr gute Kriterien für einen nachhaltigen Anbau. Für eine vielfältige und umweltangepasste Landwirtschaft werden jedoch weitere Kulturen für optimierte Fruchtfolgen benötigt. Für die Biogaserzeugung kommen dabei grundsätzlich viele unterschiedliche Kulturen in Frage. Der Energie- und Rohstoffpflanzenanbau bietet daher gute Möglichkeiten, mehr Biodiversität in die bestehenden Anbausysteme zu bringen. Die in Ergänzung zum Mais angebauten Biogassubstrate müssen jedoch wirtschaftlich tragfähig und leicht in die bestehenden Produktionssysteme einzuordnen sein. Andernfalls ist nicht mit einem nachhaltigen Anbau in den Betrieben zu rechnen. Eine dieser Kulturen mit einem hohen Ertragspotenzial sind die Sorghumarten und -sorten.

In vorangegangenen Sorghum-Anbauprojekten hat sich gezeigt, dass Sorghumhirsen vor allem auf den leichten und trockenen Diluvialstandorten in Mittel- und Ostdeutschland, aber auch auf besseren Lössböden (bei ausreichendem Wärmeangebot) in der Lage sind, mit Mais vergleichbare Trockenmasseerträge zu erbringen (ZANDER & JÄKEL 2012). Um Sorghum hinsichtlich der Effizienz der Flächennutzung, dargestellt als Methanertrag je Hektar, mit Mais und anderen Biogassubstraten vergleichen zu können, sind belastbare Angaben zum Methanbildungspotenzial der Kultur notwendig. Dieses wird im Wesentlichen durch die inhaltstoffliche Zusammensetzung des Substrates zum Zeitpunkt der Ernte beeinflusst, wobei insbesondere die Anteile an Lignin und Cellulose für die Höhe der Methanausbeute maßgebend sind.

Zielstellung des Projektes war es deshalb, die in den Feldversuchen vorheriger Projekte geprüften Sorghumarten und -sorten mithilfe umfangreicher Inhaltsstoff- und Vergärungsanalysen hinsichtlich ihrer Qualitätseigenschaften und des Methanertragspotenzials zu bewerten und diesbezüglich mit Mais zu vergleichen.

Der Anbau von Sorghum in den Landwirtschaftsbetrieben nimmt immer mehr zu. Um diese Pflanzen in der Praxis zu etablieren, müssen die wirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen werden. Das Vorhaben „Methanertragsmessung mit dem Hohenheimer Biogasertragstest zur Bewertung der Methanproduktion von Sorghumhirsen im Vergleich zu Mais“ hat sich deshalb das Ziel gesetzt, den Erkenntnisstand über die Vergäreigenschaften und die Methanausbeuten von Sorghumpflanzen zu erweitern, um der Landwirtschaft eine Alternative für den Anbau von Mais als Gärsubstrat zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus soll der vorhandene DLG-Datenpool für Sorghum um die zusätzlich gewonnenen Ergebnisse auf dem Gebiet Biogaserträge erweitert und statistisch abgesichert werden. Die bereits vorhandenen Daten des Arbeitsschwerpunktes Substratqualität und Biogasbildungspotenzial des FNR-Verbundvorhabens „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanze“ (Laufzeit von 2011 bis 2014) werden somit ergänzt.

# 2 Material und Methoden

## 2.1 Versuche und deren Standorte

Das Probenmaterial wurde durch die Partner aus dem abgeschlossenen FNR-Verbundvorhaben „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanze“ zur Verfügung gestellt. Alle weiteren Informationen zu den Versuchen können in diesem Bericht nachgelesen werden. Der Untersuchungszeitraum des Probenmaterials erstreckte sich von April 2011 bis Juni 2015. Die in den verschiedenen Feldversuchsanlagen (Sorten, Saatzeit und Düngung) angebauten Sorghumsorten wurden mithilfe einer umfangreichen Analyse der Rohrnährstoffgehalte hinsichtlich der Substratqualität und des Biogasbildungspotenzials bewertet und mit Mais verglichen.

### 2.1.1 Sortenversuche

Bei den im Vorhaben bearbeiteten Sorghumarten handelt es sich um Sorten der Futterhirse (*Sorghum bicolor*)\*, um eine Sorte der Körnerhirsen (*Sorghum bicolor*)\* und um Sorten der Sudangrashybriden (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*).

Beim Sortenversuch sollen die Eigenschaften und Leistungen von Sorghumarten und -sorten auf unterschiedlichen Standorten in Deutschland beschrieben werden. Die Prüfungen wurden bundesweit an 14 Standorten durchgeführt. Davon zählen zwei Standorte in Brandenburg (Grünewalde und Welzow) zu den Rekultivierungsstandorten. Neben 13 Sorghumsorten sind in den Versuchen zwei Maissorten als Referenz integriert.

Mittels Untersuchung von **Silageproben und Häckselgut** (vermahlene Trockenproben) werden die Mais- und Sorghumarten bzw. -sorten hinsichtlich Rohrnährstoffe und Gasausbeute beurteilt.

Um die im Projekt vertretenen Sorten und Sortentypen bezüglich ihrer Anbaueignung in klimatisch unterschiedlichen Regionen bewerten zu können, wurde in der Planung des Vorhabens eine Zuordnung der beteiligten Prüfstandorte zu vier Anbauregionen vorgenommen. Diese Einteilung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Grundsätzlich lassen sich die Prüfstandorte der Anbauregion **D-Nord** als typische Sandstandorte, die unter kühlem Witterungseinfluss stehen, beschreiben.

Die von ihrer Bodengüte besser gestellten Standorte der sogenannten Anbauregion **Löss** zeichnen sich durch lehmige bzw. schluffhaltige Böden mit einem hohen Ertragsniveau aus.

Zur Anbauregion **D-Süd** zählen schwerpunktmäßig Standorte im mittel- und ostdeutschen Raum, mit geringeren Niederschlagssummen, höheren Durchschnittstemperaturen und der Gefahr von Sommertrockenheit.

Zur Anbauregion **K** zählen die Rekultivierungsstandorte in Brandenburg.

\*) Die Art *Sorghum bicolor* besteht aus vier verschiedenen Typen mit unterschiedlichen Pflanzeigenschaften. Zwei der vier Typen wurden im Projekt untersucht.

**Tabelle 1: Standorte der Sortenversuche mit Prüfung im HBT**

Anbauregion	Boden-Klima-Raum	Standort (Ackerzahl)	Bundesland
D-Nord	mittlere diluviale Böden Nord-Ost	Gülzow (30-56)	Mecklenburg-Vorpommern (MV)
Löss	Lehmböden/Südhannover	Poppenburg (85)	Niedersachsen (NI)
	Lössböden in der Ackerebene Ost	Bernburg (90)	Sachsen-Anhalt (ST)
	Lössböden in der Ackerebene Ost	Friemar (98)	Thüringen (TH)
	Lössböden in der Ackerebene Ost	Dornburg (61)	Thüringen (TH)
	Gäu, Donau- und Inntal	Straubing (76)	Bayern (BY)
D-Süd	trocken-warme diluviale Böden Ost	Güterfelde (28-35)	Brandenburg (BB)
	trocken-warme diluviale Böden Ost	Drößig (40)	Brandenburg (BB)
	trocken-warme diluviale Böden Ost	Gadegast (35)	Sachsen-Anhalt (ST)
	trocken-warme diluviale Böden Ost	Trossin (30-46)	Sachsen (SN)
K	trocken-warme diluviale Böden Ost	Welzow (9)	Brandenburg (BB)

Bei der Anlagenform der Versuche handelt es sich mehrheitlich um Blockanlagen. Die Sorten wurden innerhalb der Fruchtarten bzw. Reifegruppen randomisiert. Für die Untersuchungen zu Pflanzeninhaltsstoffen wurden zusätzlich Proben weiterer Standorte verwendet.

In Tabelle 2 ist die jeweilige Sortenzusammensetzung der drei Versuchsjahre dargestellt.

**Tabelle 2: Prüfsortiment der Sortenversuche im HBT**

Fruchtart	2011	2012	2013
Mais (als Referenzprobe)	<b>Atletico (RZ S280)</b>	<b>Atletico (RZ S280)</b>	<b>Atletico (RZ S280)</b>
	<b>LG 3216 (RZ S260)</b>	<b>LG 3216 (RZ S260)</b>	LG 3216 (RZ S260)
Sudangrashybrid ( <i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i> ) Reifegrad: früh	<b>Lussi</b>	<b>Lussi</b>	<b>Lussi</b>
	<b>KWS Freya</b>	<b>KWS Freya</b>	<b>KWS Freya</b>
	Nutri Honey	<b>KWS Sole</b>	KWS Sole
Sudangrashybrid ( <i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i> ) Reifegrad: spät	Super Dolce 15		
	Niagara 2		
	Latte		
Körnerhirse		<b>Farmsugro 180</b>	<b>Farmsugro 180</b>
	<b>Sucrosorgo 506</b>	<b>Sucrosorgo 506</b>	
	<b>Hercules</b>	<b>Hercules</b>	<b>Hercules</b>
	<b>KWS Zerberus</b>	<b>KWS Zerberus</b>	<b>KWS Zerberus</b>
	<b>Amiggo (RHS1092)</b>	<b>Amiggo (RHS 1092)</b>	<b>Amiggo (RHS 1092)</b>
	<b>BMR 201</b>	<b>KWS Tarzan</b>	KWS Tarzan
	<b>KWS Odin</b>	KWS Merlin (KSH 0704)	KWS Merlin (KSH 0704)
	<b>Biomass 150</b>	EUG 221 F	EUG 221 F
	<b>BMR 201</b>	Uluru (NUS-F-17)	Zeus
		Kylie	Joggy
		PR 823 F	

Die **fett** hervorgehobenen Sorten entsprechen dem ausgewählten Prüfsortiment für die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials mittels HBT.

### 2.1.2 Sortenversuch Zwischenschnitt

In den Anbaujahren 2012 und 2013 wurde an den Versuchsstandorten Trossin und Straubing zusätzlich ein sogenannter Zwischenschnitt bei den Sorghumsorten Lussi und KWS Zerberus im Abstand von 14 Tagen bis zum endgültigen Erntetermin aus dem Randstreifen der jeweiligen Parzelle entnommen. Der erste Schnitt im Anbaujahr 2012 erfolgte in Trossin am 1. August und in Straubing am 3. August. Im Anbaujahr 2013 wurde der erste Schnitt dagegen erst am 14. August an beiden Standorten durchgeführt. In Tabelle 3 sind die Erntetermine und Entwicklungsstadien dargestellt. Von den Zwischenschnittproben wurden folgende Werte ermittelt:

- Trockensubstanz
- Rohasche- und Rohfasergehalt
- Faserfraktionen
- Zuckergehalt
- enzymlösliche organische Substanz
- Biogas- und Methanertrag
- Methangehalt

Der Versuch Zwischenschnitt soll erste Erkenntnisse zum Entwicklungsverlauf der Pflanzen und zum günstigsten Erntetermin hinsichtlich Biogasausbeute bereitstellen.

**Tabelle 3: Schnittzeitpunkte und Entwicklungsstadien der Pflanzen im Zwischenschnittversuch zur Ermittlung der Biogasausbeute**

Sorte	2012				2013			
	Trossin		Straubing		Trossin		Straubing	
	Datum	BBCH	Datum	BBCH	Datum	BBCH	Datum	BBCH
<b>Lussi</b>	01.08.	-	03.08.	-	14.08.	59	14.08.	59
	15.08.	61	20.08.	69	30.08.	65	05.09.	75
	27.08.	73	30.08.	79	06.09.	65	17.09.	79
<b>Zerberus</b>	15.08.	37	20.08.	45	14.08.	34	14.08.	37
	27.08.	39	30.08.	65	30.08.	39	05.09.	69
	07.09.	55	07.09.	75	06.09.	39	17.09.	73
	17.09.	59	14.09.	75	19.09.	51		
<b>Atletico</b>	05.09.	-	05.09.	-				

### 2.1.3 Saatzeitenversuch

Ziel dieses Versuches war die Abbildung des Ertrags- und des Biogaspotenzials von Sorghum in Abhängigkeit von Vegetationsdauer und Saatzeitpunkt. Hinsichtlich Inhaltsstoffe und Biogasbildungspotenzial wurde die Sorte Lussi (Sudangrashybrid) mit den Maissorten Ronaldinio und Salgado am Standort Straubing (2012) miteinander verglichen.

Der erste Saattermin wurde auf **Ende April** gelegt (Hauptfruchtanbau), ein für Sorghum aufgrund seiner mangelnden Kühletoleranz sehr zeitiges Datum. Die Saatvarianten **Mitte Mai** und **Ende Mai** erlauben bei frühen Sorten sowohl einen Haupt- als auch einen Zweitfruchtanbau. Würde Sorghum **Mitte Juni** gesät (Saatvariante 4), so könnte eine Vorfrucht wie Wintergerste als Ganzpflanzensilage optimal bei hohen TS-Gehalten und mit hohen Erträgen geerntet werden.

Eine im Versuch ebenfalls mitgeführte Maisreferenz ermöglichte eine standortbezogene Einschätzung der Ertragsergebnisse (1. und 2. Saat = Ronaldinio [S240], 3. und 4. Saat = Salgado [S200]).

Die tatsächlich realisierten Saattermine des Standortes und die während der Vegetationszeit akkumulierten Wärmesummen für die Bestimmung der Biogasausbeute sind Tabelle 4 zu entnehmen.

**Tabelle 4: Termine, Wärmesummen und Niederschläge am Standort Straubing 2012 - Saatzeitenversuch (nach HARTMANN, TFZ Straubing)**

Saat	Ernte	Vegetationstage <sup>1)</sup>	Wärmesumme in °C <sup>2)</sup>	Niederschlag in mm
30.04.	04.09.	127	996	444
15.05.	28.09.	136	949	401
31.05.	11.10.	133	869	331
18.06.	11.10.	115	818	357

<sup>1)</sup> Vegetationstage zwischen Saat und Ernte; <sup>2)</sup> akkumulierte Wärmesumme von Saat bis Ernte, berechnet nach GERIK et al. (2003)

### 2.1.4 Düngungsversuch

In der Düngungsversuchsanlage wurde das Prüfsortiment nach unterschiedlichen Düngungsstufen (D1 = 0 kg N/ha; D2 = 100 kg N/ha; D3 = 150 kg N/ha; D4 = 200 kg N/ha; D5 = 250 kg N/ha) angebaut. Neben der Ableitung einer optimalen und standortangepassten Düngeempfehlung für Sorghum wurde zusätzlich untersucht, ob die Menge an Stickstoff in kg N/ha einen Einfluss auf den Methanertrag hat. Von der Soll-Stickstoffmenge der jeweiligen N-Stufe wurde der N<sub>min</sub>-Gehalt im Boden abgezogen.

### 2.1.5 Praxisbetrieb: Biogasanlage Rackwitz

In einem weiteren Versuch sollte die Frage geklärt werden, inwieweit eine Laborbiogasanlage mit sehr kleinen Kolbenprobern Biogaserträge in der Praxis vorhersagen bzw. abbilden kann. Dazu wurden Silageproben der Agrar- und Umwelt-AG Loberaue (Praxisbetrieb) mit dem HBT auf ihren Methanertrag untersucht. Neben der Untersuchung im HBT wurde ein weiteres Labor mit der Überprüfung der Methanausbeuten beauftragt. Bei der Methode zur Ermittlung der Methanausbeute des Labors handelt es sich um Labor-Batch-Versuche. Das Labor ist akkreditiert.

Zusätzlich interessant ist die Frage, ob eine Silagemischung, in diesem Fall Mais, Sorghum und Luzerne, den Biogasertrag gegenüber den Einzelkomponenten beeinflussen kann. In der Praxis konnten dabei Synergieeffekte festgestellt werden.

In der Agrar- und Umwelt-AG Loberaue wurden Versuche zum Sorghumanbau durchgeführt, um Substrate für die Biogasanlage Rackwitz bereitzustellen. Angebaut wurden die Maissorte XXIRA und die beiden Sudangrashybriden Sole und Lussi. Als Vor- und Hauptfrucht wurde Roggen der Sorte Palazzo angebaut und am 22.06.2014 geerntet. Die beiden Sudangrashybriden wurden am 26.06. und der Mais am 27.06.2014 geerntet. Geerntet wurde am 12.11.2014. Die Sudangrashybriden zeigten hier bereits erste Kälteschäden. Bei der Silierung wurden die beiden Sorghumsorten gemischt. Der Betrieb erzeugt auch Luzerne-Anweilsilage. Die drei Silagearten werden in der Biogasanlage Rackwitz in Verbindung mit Putenmist vergoren.

## 2.2 Proben- und Untersuchungsumfang

### 2.2.1 Pflanzenanalytik

In Tabelle 5 wird der Probenumfang zur Bestimmung aller Rohrnähr- und Mineralstoffe, der Sensorik, der Gärsäuren und der Mikrobiologie für die Pflanzenanalytik für die einzelnen Versuche (außer Praxisbetrieb) dargestellt.

Im Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 723 Pflanzenproben unsiliert (im nachfolgenden „Häckselgut“ genannt) und siliert (im nachfolgenden „Silage“ genannt), auf Trockensubstanz und 600 Pflanzenproben auf Rohaschegehalt untersucht. Bei den Rohrnährstoffen einschließlich der Faserfraktion wurden fast 400 Proben untersucht. Bei der Bestimmung der Mineralstoffe und der Sensorik von Silagen wurde ein Probenumfang von rund 220 erreicht. Damit steht insgesamt ein großer Probenumfang zur Verfügung, der eine statistische Absicherung der Werte ermöglicht.

Von den Pflanzenproben des Düngungsversuchs wurden fünf Proben für eine zusätzliche Untersuchung auf den Gehalt an Rohrnährstoffen (siehe Tabelle 5) ausgewählt.

Von den insgesamt 219 hergestellten Silageproben wurden von 16 Proben (vier verschiedene Sorten von vier verschiedenen Standorten) die Gehalte an Rohrnährstoffen bestimmt. Hierbei wurde nur bei Mais der Stärkegehalt geprüft, weil die Sorghumarten (außer Körnerhirse) fast keine Stärke enthalten.

### 2.2.2 Biogasbildungspotenzial

Für die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials mittels Hohenheimer Biogasertragstest wurden Häckselgut- und Silageproben aus der Sortenversuchsanlage ausgewählt. Dabei wurden Sorten mit einem hohen Trockenmasseertrag verwendet. Von insgesamt 298 Pflanzenproben wurden das im Fermenter gebildete Biogasvolumen und der entsprechende Methangehalt in einer Dreifachwiederholung bestimmt (Tabelle 6).

**Tabelle 5: Proben- und Untersuchungsumfang für die Bestimmung der Substratqualität bzw. der Pflanzeninhaltsstoffe**

Parameter	Sorten-Versuch		Saatzeiten-Versuch Häckselgut	Düngungs-Versuch Häckselgut	Gesamtanzahl
	Häckselgut	Silage			
Trockensubstanz (TS)	256	219	120	128	723
Rohasche (RA, XA)	256	219	120	5	600
<b>Rohnährstoffe:</b>					
Rohprotein (RP, XP)	219	16	120	5	360
Rohfaser (Rfa, XF)	256	16	120	5	397
Rohfett (Rfe, XL)	219	16	120	5	360
Stärke (XS)	219	4	120	-	343
Gesamtzucker (XZ)	256	16	120	5	397
Enzymlösliche organische Substanz (ELOS)	256	16	120	5	397
Faserfraktion ADF <sub>om</sub>	256	16	120	5	397
Faserfraktion <sub>a</sub> NDF <sub>om</sub>	256	16	120	5	397
Faserfraktion ADL	256	16	120	5	397
<b>Mineralstoffe:</b>					
Calcium	219				219
Phosphor	219				219
Kalium	219				219
Magnesium	219				219
Schwefel	219				219
<b>Sensorik:</b>					
Geruch		219			219
Farbe		219			219
Feuchte		219			219
Schimmelbefall		219			219
<b>Alkohol, Gär säuren:</b>					
Ethanol		35			35
Essigsäure		35			35
Buttersäure		35			35
<b>pH-Wert:</b>		35			35
<b>Mikrobiologie:</b>					
Anaerobe mesophile Bakterien		10			10
Schimmelpilze		10			10
Hefen		10			10
Milchsäurebakterien		10			10
Clostridien		10			10

**Tabelle 6: Proben- und Untersuchungsumfang für die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials**

Parameter	Sortenversuch		Saatzeitenversuch	Düngungsversuch	Zwischenschnitt Häckselgut	Praxisversuch Silage	Gesamtanzahl Prüfzeitraum
	Häckselgut	Silage	Häckselgut	Häckselgut			
Biogasvolumina	100	152	8	5	29	4	298
CH <sub>4</sub> -Gehalt	100	152	8	5	29	4	298

## 2.3 Probenahme und -aufbereitung

Die Untersuchung der Proben auf die Silagequalität erfolgte durch die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Nossen.

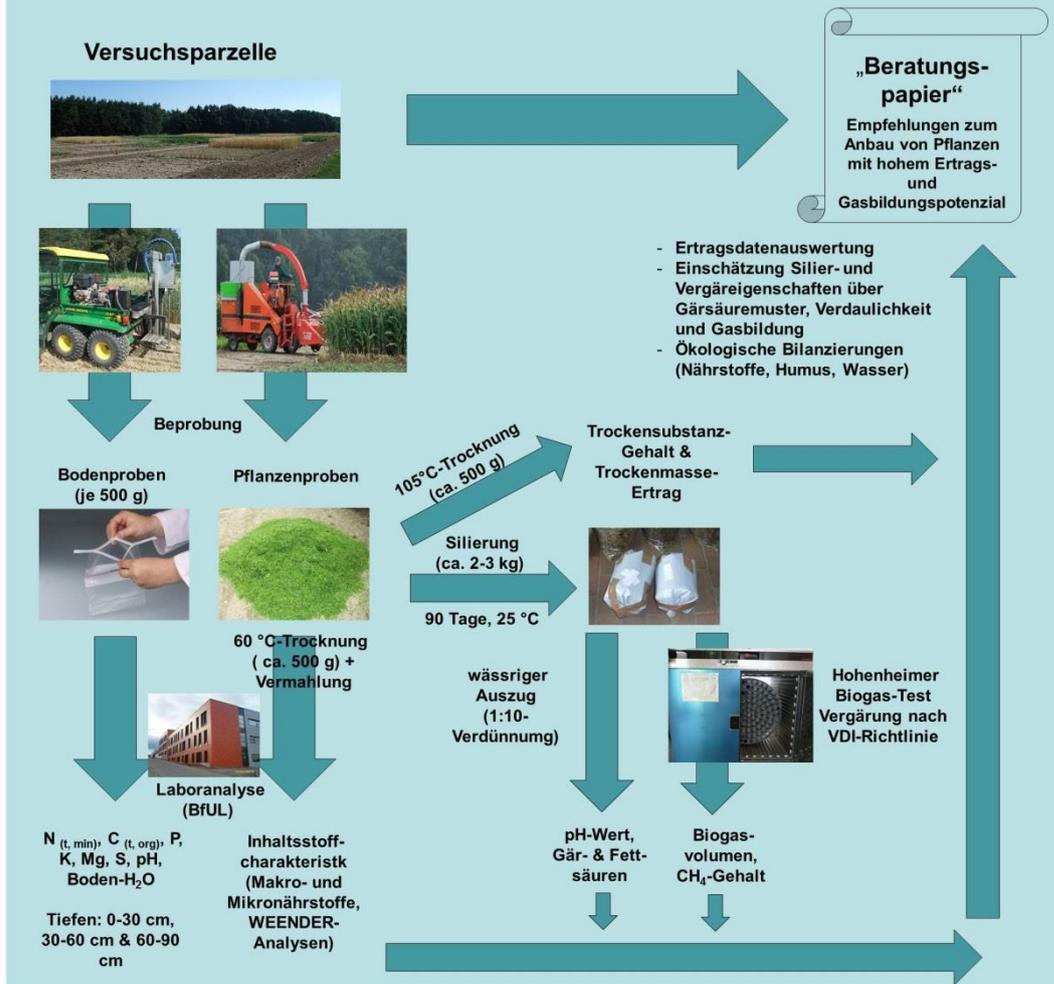
In der Abbildung 1 wird der Weg einer Pflanzen- bzw. Bodenprobe vom Anbau in der Versuchsparzelle über die Ernte und die Probenahme bis hin zur Probenaufbereitung und Untersuchung auf verschiedene Parameter dargestellt. Wichtig für eine optimale Analytik sind eine saubere und exakte Probenahme sowie ein zügiger Transport und eine optimale Lagerung der Proben.

# Die Projekte „EVA“ und „Sorghum“

## Von der Probenahme zum Beratungspapier

Jana Grunewald, Karen Pötzschke, Dr. Kerstin Jäkel

Die Projekte „Entwicklung und Vergleich von Anbausystemen für Energiepflanzen“ und „Anbautechnik Sorghumhirsen“ sind von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) unterstützte deutschlandweite Verbundprojekte zur Erprobung und Optimierung des Energiepflanzenanbaus für die Biogasproduktion mit dem Ziel der Ableitung von Praktikerempfehlungen. Daten aus laboranalytischen Untersuchungen von Pflanzen- und Bodenproben sind für die landwirtschaftliche Beratung unabhängigbar.



LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Abbildung 1: Von der Probenahme zum Beratungspapier (Poster)

Die Probenaufbereitung für die Untersuchung auf Substratqualität und Biogasbildungspotenzial erfolgt für Häckselgut- und Silageproben nach der gleichen Methode. Teilweise erfolgte dies durch die Projektpartner an den angegebenen Standorten.

Das gehäckselte, unsilierte Erntematerial wird sofort nach der Ernte bei max. 60 °C im Trockenschrank (alternativ: Lufttrocknungsanlage) **vorgetrocknet**. Bei dieser Art der Trocknung werden Proteine, Zucker und Zellwandbestandteile nicht zerstört bzw. deren Struktur nicht oder nur marginal verändert. Für die Vortrocknung werden circa 500 g des gehäckselten Pflanzenmaterials eingewogen. Getrocknet wird bis zur Gewichtskonstanz (etwa 16 Stunden). Die aus dem Quotienten von Rückwaage und Einwaage erhaltene Trockensubstanz hat noch eine gewisse Restfeuchte, die durch die Trocknung der Probe bei 105 °C bestimmt wird. Um nach der Ernte zeitnah eine erste Einschätzung der Trockensubstanz einer Probe zu erhalten, kann ein kleiner Teil der noch ungetrockneten Probe für eine Trocknung bei 105 °C entnommen werden. Bei dieser Temperatur werden alle organischen Inhaltsstoffe zerstört.

Nach der Vortrocknung erfolgt die **Probenvermahlung** mit einer geeigneten Pflanzenmühle. In der Regel wird auf 1 mm Siebdurchgang vermahlen. Anschließend wird die Probe unverzüglich in ein trockenes, verschließbares Gefäß umgefüllt und einem akkreditierten Analysenlabor übergeben.

Im Analysenlabor erfolgt anschließend die **Bestimmung der Restfeuchte** (bei 105 °C) sowie der Gehalte an **Rohnähr- und Mineralstoffen** nach VDLUFA-Methodenbuch Band III (Tabelle 7). Für die Bestimmung der Restfeuchte werden 5 g der lufttrocknen Probe eingewogen und über Nacht im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet. Nach Rückwaage der Probe wird diese Substanz zur Ermittlung der Rohasche bei 550 °C im Muffelofen verascht.

Die **Einsilierung** erfolgte in kleinen Schlauchsilos oder in Silagegläsern. Alle Siliergefäße der in der Sortenversuchsanlage parallel hergestellten Silagen werden nach 90 Tagen Silierdauer wieder geöffnet. Sensorisch werden Aussehen, Farbe, Geruch und Feuchte beurteilt. Nach der sensorischen Beurteilung erfolgte die Aufbereitung sowohl für die Pflanzen- als auch für die Biogasanalytik analog der Häckselgutproben.

Abbildung 2 zeigt den Ablauf von der Herstellung bis zur Öffnung und Dokumentation der sensorischen Beurteilung der Silageproben. Die Qualität der Silierung hängt maßgeblich von einer sorgfältigen Herstellung ab. Die richtige Herstellung ist die Voraussetzung für eine gute Konservierung des einsilierten Materials während der Lagerzeit von mindestens 90 Tagen. Wird das Material nicht richtig verdichtet oder das Siliergefäß nicht luftdicht verschlossen, so entstehen Fehlgärungen. Bei einer optimalen Einsilierung können Silagen auch bis weit über 90 Tage gelagert werden. Als beste Möglichkeit zur Herstellung kleiner Silagemengen erwies sich das Einschweißen in Folienschläuche. Zwei der Projektpartner konnten diese Variante eines luftdichten Verschlusses nutzen. Silagen wurden nur in den Jahren 2011 und 2012 hergestellt. Die letzten Silagen wurden Ende 2014 geöffnet.

Folgende Untersuchungen (in unterschiedlicher Anzahl) wurden an den Silagen durchgeführt:

- Begutachtung sensorischer Parameter (Geruch, Aussehen, Feuchte, Farbe)
- Trockensubstanz-, Gär säure- und Ammoniumgehalt
- Gehalt an Rohnährstoffen
- Besatz an Mikroorganismen
- Berechnung und Messung der Methanausbeute

Alle Proben wurden, wie im Kapitel 2.4 beschrieben, für die weitere Analyse im Labor aufbereitet. Bei der Öffnung der Silagen wurde oftmals Schimmelbefall festgestellt. Für die Bestimmung des Biogasbildungs-

potenzials wurde das schimmelbefallene Material weitestgehend entfernt und entsorgt. Nur einwandfreie „saubere“ Silagen können auch sehr gute Methanerträge liefern.



**Abbildung 2: Von der Herstellung über die Lagerung bis zur Öffnung und Dokumentation einer Silage**

## 2.4 Methoden zur Bestimmung der Substratqualität

Die Substratqualität wird vorrangig am Gehalt an Rohnähr- und Mineralstoffen beurteilt. Die Bestimmung der einzelnen Parameter erfolgte mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und Röntgenfluoreszenzmessung (RFA), basierend auf den in Tabelle 7 angegebenen referenzanalytischen VDLUFA-Methoden. Ausgewählte Rohnährstoffe bilden die Grundlage für die Berechnung des Gehaltes der organischen Trockensubstanz (oTS), der Stickstofffreien Extraktstoffe (NfE), des Stickstoffgehaltes nach MULDER und des Methanertrages nach WEISSBACH.

Trockensubstanz- und Rohnährstoffgehalt der Pflanzenproben aus dem Sorten- und dem Saatzeitenversuch wurden auf Grund des Probenumfangs mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt. Der Mineralstoffgehalt wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermittelt. Von den Pflanzenproben aus dem Düngungsversuch wurden Trockensubstanz- und Rohproteingehalt referenzanalytisch, die Rohnährstoffe der fünf ausgewählten Proben jedoch mittels Nahinfrarotspektroskopie bestimmt.

Für eine optimale Beurteilung der Substratqualität der hergestellten Silagen wird neben der sensorischen Einschätzung und den Nährstoffgehalten auch der Gehalt an Gärsäuren und das Vorkommen der an der Umsetzung des einsilierten Materials beteiligten Mikroorganismen zusätzlich erfasst. Für die Bestimmung der Gärsäuren, des pH-Wertes und des Ammoniumgehaltes wird als erstes ein wässriger Auszug 1 : 10 (50 g der ungetrockneten Probe in 500 ml destilliertem Wasser einweichen) hergestellt, über Nacht stehen gelassen, filtriert und das Filtrat anschließend mittels Gaschromatografie gemessen. Die mikrobiologische Untersuchung erfolgte immer am frischen Probenmaterial.

**Tabelle 7: Angewandte VDLUFA-Analysenmethoden**

Parameter	Methoden	Methoden	
Trockensubstanz (TS)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 3.1	1)
Rohasche (RA, XA)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 8.1	1)
Rohprotein (RP, XP)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 4.1.2, DUMAS-Verbrennungsmethode	1)
Rohfett (Rfe, XL)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 5.1.2	1)
Rohfaser (Rfa, XF)	NIRS	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes A220, Firma Ankom	1)
Gesamtzucker (XZ)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 7.1.3	1)
Stärke (XS)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 7.2.1	1)
Säure-Detergenzien-Faser (ADF <sub>om</sub> )	NIRS	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes A220, Firma Ankom	1)
Säure-Detergenzien-Lignin (Rohlignin, ADL)	NIRS	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes A220, Firma Ankom, nach der ADF Bestimmung erfolgt die Weiterbehandlung nach VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 6.5.3	1)
Neutral-Detergenzien-Faser (aNDF <sub>om</sub> )	NIRS	Vorschrift des Herstellers des Aufschlussgerätes A220, Firma Ankom	1)
Enzymlösliche organische Substanz (ELOS)	NIRS	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 6.6.1	1)
Phosphor		VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 10.8.3, Röntgenfluoreszenzanalyse	
Kalium		VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 10.8.3, Röntgenfluoreszenzanalyse	
Magnesium		VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 10.8.3, Röntgenfluoreszenzanalyse	
Schwefel		VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 10.8.3, Röntgenfluoreszenzanalyse	

Parameter	Methode
Gärsäuren in Silagen	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 18.5, Hausmethode Gaschromatografie
pH-Wert von Silagen	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 18.1
Mikrobiologie	VDLUFA-Methodenbuch Band III, Kapitel 28.1.2. und 28.1.3
Sensorik	Modifizierter DLG-Schlüssel zur Grobfutterbewertung; DLG-Info 1/2004

1) Referenzmethode BfUL-Kalibrierung

Die **NIRS-Methode (Nahinfrarotspektroskopie)** ist ein indirektes Messverfahren basierend auf der Messung der optisch-physikalischen Eigenschaften einer Probe. Voraussetzung für eine NIRS-Messung ist die Erstellung einer matrixspezifischen Kalibrierung mit anschließender Validierung (zur Qualitätssicherung) der einzelnen Rohnährstoffe (Tabelle 8). Für die Untersuchung der Maispflanzenproben konnte auf die vorhandene VDLUFA-Netzwerkcalibration Silomais zurückgegriffen werden. Für die Sorghumpflanzenproben wurde eine hausinterne Kalibrierungsgleichung und Validierungskurve erstellt. Die Grundlage für die Erstellung einer solchen Kurve bzw. Gleichung ist eine referenzanalytische Bestimmung der Rohnährstoffe nach erweiterter Weender-Futtermittelanalyse nach VDLUFA-Methodenbuch Bd. III (3). Die Abbildung 3 zeigt noch weitere mögliche Analysenmethoden.

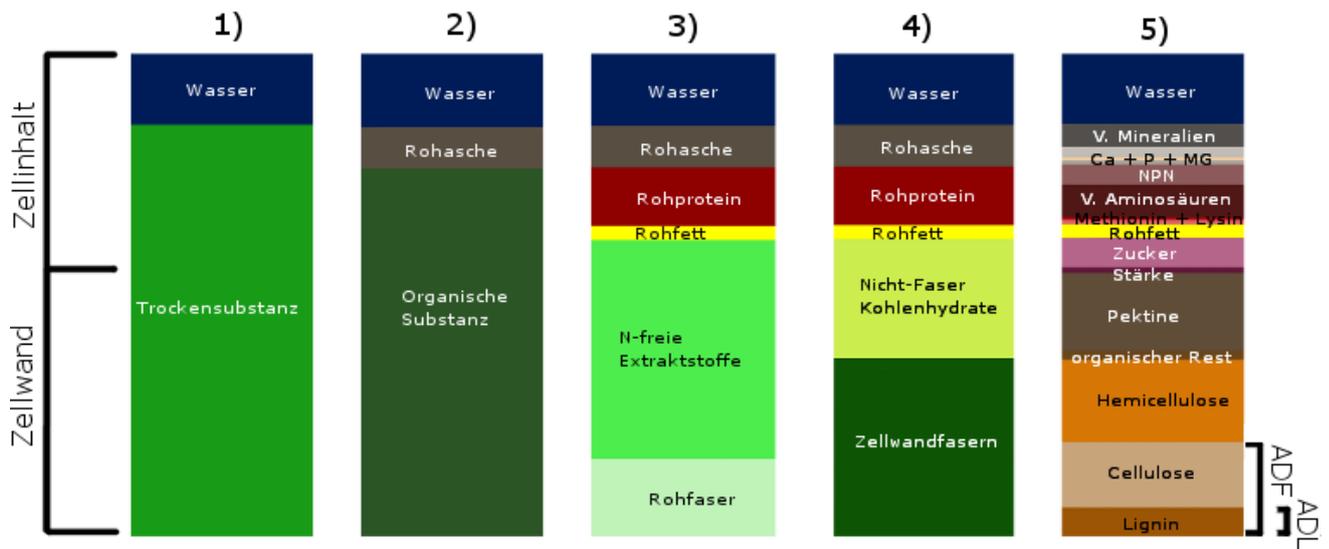
Die Referenzanalytik erfolgte an den Proben aus dem Anbaujahr 2011. Mit ausgewählten Proben aus den Anbaujahren 2012 und 2013 wurde die Kalibrierung überprüft und gegebenenfalls aktualisiert (Validierung). Für eine gute Kalibrierung wird ein Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung von 0,8 bis 1 angestrebt. Für den Parameter Rohfett (Tabelle 8) konnte bei den Sorghumproben trotz eines hohen Probendurchsatzes kein besseres Bestimmtheitsmaß der Kalibrierung ( $1-VR = 0,59$ ) erzielt werden. Gründe dafür sind die geringe Spannweite aller auf Rohfett untersuchten Sorghumproben und im hohen Fehlerbereich der Referenzanalytik bei einem niedrigen Konzentrationsbereich (VDLUFA-Analysenspielraum für Rohfett  $\pm 0,6$  % abs.). Für den Parameter Stärke konnte keine NIRS-Kalibration erstellt werden, weil die Gehalte in den untersuchten Proben aus dem Anbaujahr 2011 größtenteils unter der Bestimmungsgrenze von  $< 1$  % LTS lagen (Referenzanalytik). Bei den Sudangrashybriden und den Futterhirschen wurde ab dem Anbaujahr 2012 auf die Bestimmung der Stärke verzichtet (weil nur minimal vorhanden). Bei Körnersorghum erfolgte diese wie bei den Maispflanzen referenzanalytisch.

**Tabelle 8: Nahinfrarotspektroskopie – mittlere Kalibrationsdaten für Sorghum**

Parameter	Probenanzahl	Mittelwert % LTS	SD	Min-Wert % LTS	Max-Wert % LTS	SEC	RQS	SECV	1-VR
Trockensubstanz	225	93,4	1,39	89,3	97,6	0,28	0,96	0,35	0,94
Rohasche	237	5,34	1,21	1,70	9,00	0,43	0,87	0,48	0,84
Rohprotein	218	7,76	1,72	2,60	12,9	0,39	0,95	0,44	0,93
Rohfaser	117	30,1	4,73	15,9	44,3	1,17	0,94	1,36	0,92
Rohfett	201	1,17	0,39	0,10	2,30	0,24	0,62	0,28	0,59
Gesamtzucker	135	10,8	5,49	0,00	27,2	0,79	0,98	0,97	0,97
ELOS	159	44,6	6,71	24,4	64,7	1,53	0,95	2,05	0,91
ADF <sub>om</sub>	107	33,4	4,44	20,1	46,7	1,09	0,94	1,38	0,91
aNDF <sub>om</sub>	99	59,2	5,89	41,5	76,8	1,45	0,94	1,62	0,92
ADL	74	5,74	1,46	1,40	10,1	0,53	0,87	0,67	0,80

SD = Standardabweichung; SEC = Standardfehler der Kalibrierung; SECV = Standardfehler der Kreuzvalidierung; RQS = Bestimmtheitsmaß der Kalibrierung; 1-VR = Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung, LTS = Lufttrockensubstanz

(Quelle: KRIEG, BfUL; Stand: März 2014)



Legende:

Punkt 1) bis Punkt 3): Weender- bzw. Futtermittelanalyse

Punkt 4): Analyse nach Van Soest

Punkt 5): Spezielle Analyse

**Abbildung 3: Futtermittelanalyse nach verschiedenen Verfahren**

Quelle: www.heimtierwissen.de\_Bilder\_Futtermittelkunde, 19. Juli 2015)

## 2.5 Bestimmung des Biogaspotenzials

Das Biogasbildungspotenzial kann mathematisch berechnet werden. Dafür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Im Projekt wurde die Berechnung nach WEISSBACH durchgeführt. Für das Prüfsortiment des Sorten- und des Saatzeitenversuchs wurden das Biogasbildungspotenzial und der spezifische Methanertrag anhand der Rohnährstoffgehalte mit dem mathematischen Ansatz nach WEISSBACH (2009) berechnet. Eine weitere Methode besteht in der Prüfung des Biogasbildungspotenzials mittels Gärversuche. Im Labor des LfULG stand dafür ein Hohenheimer Biogasertragstester (HBT) zur Verfügung. In Tabelle 6 sind alle Proben zur Bestimmung des Biogasbildungspotenzials mittels HBT dargestellt.

In Tabelle 1 sind dafür die ausgewählten Standorte und in Tabelle 2 die ausgewählten Sorten für Häckselgut und Silage (fett gedruckt) ersichtlich.

### 2.5.1 Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009) (Theoretischer Methanertrag)

Gärversuche im Labor sind mit einem hohen Zeit-, Kosten- und Arbeitsaufwand verbunden. Die Ermittlung der Gasausbeute nach WEISSBACH (2008) stellt hierzu eine schnelle und kostengünstige Alternative dar, die zudem gut reproduzierbare Ergebnisse liefert. WEISSBACH (2008) führte für die Bewertung des Biogasbildungspotenzials pflanzlicher Substrate einen neuen Parameter ein, die sogenannte „fermentierbare organische Trockensubstanz“ (FoTS). Diese umfasst den Anteil der organischen Trockensubstanz, der unter anaeroben Bedingungen biologisch abgebaut und somit in der Biogasanlage potenziell genutzt werden kann. Der Gehalt an fermentierbarer organischer Trockensubstanz kann mittels Laboranalysen ermittelt werden und lässt sich im Vergleich zum biologischen Stoffumsatz im Fermenter zahlenmäßig definieren. Zur Berechnung der FoTS für die verschiedenen potenziell nutzbaren Biogassubstrate stellte WEISSBACH (2009) Schätzgleichungen auf. Für Halm- und Körnerfrüchte liegt das Biogasbildungspotenzial bei 800 l Biogas und die Me-

thanbildung bei 420 l Methan je kg FoTS (WEISSBACH 2009). Für Sorghum liegt aufgrund der fehlenden Datengrundlage bisher noch keine eigene Schätzgleichung vor, weshalb WEISSBACH die Verwendung der Formel für Mais vorschlägt. In die Berechnung der FoTS geht neben dem Rohaschegehalt (RA) auch der Rohfasergehalt (Rfa) anteilig ein.

Als Beispiel wird hier die Schätzgleichung der fermentierbaren organischen Trockensubstanz mit den Substratbestandteilen für eine Maissilage nach WEISSBACH (2009) mit der Einheit g/kg TS angegeben:

$$FoTS = 1000 - Rohasche - 16 - 0 - (0,47 * Rohfaser + 0,00104 * Rohfaser^2)$$

wobei        16     =     nicht fermentierbare Rohproteine (konstanter Anteil)  
                   0     =     nicht fermentierbare Rohfette (konstanter Anteil)  
 0,47 \* Rohfaser     =     nicht fermentierbare Kohlenhydrate (Funktion der Rohfaser)  
 entspricht.

Daraus ergibt sich eine Funktionsabhängigkeit zwischen der Biogas- bzw. Methanausbeute und dem Rohfasergehalt. Demzufolge lautet die vereinfachte Schätzgleichung für eine Maissilage:

$$FoTS = 984 - Rohasche - (0,47 * Rohfaser + 0,00104 * Rohfaser^2)$$

Die stöchiometrische Berechnung des Biogasbildungspotenzials nach WEISSBACH (2008) unter Berücksichtigung der Inkorporation<sup>1</sup> von 5 % bakterieller Biomasse ergibt sich wie folgt:

$$Biogasausbeute \left[ \frac{l}{kg} TS \right] = FoTS * \frac{800}{1000}$$

$$Methanausbeute \left[ \frac{l}{kg} TS \right] = FoTS * \frac{420}{1000}$$

wobei:        800/1000     =     Gasbildungskoeffizient für Maissilage in l/kg FoTS  
                   420/1000     =     Methanbildungskoeffizient für Maissilage in l/kg FoTS  
 entspricht.

Quelle: (LIEBETRAU et al. 2014)

Die WEISSBACH-Schätzgleichungen gelten sowohl für frisches Erntematerial wie auch für Silagen oder schonend getrocknetes Material. Für die Anwendung der Schätzgleichungen auf Silagen ist der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zu untersuchen und ihr Trockensubstanzgehalt entsprechend zu korrigieren. Bei den im getrockneten Zustand untersuchten Silageproben ist keine Berücksichtigung der beim Trocknungsprozess verflüchtigten Gärsäuren erforderlich. Laut GÖDEKE (2012) ist der größte Verlust an Gärsäuren zwischen dem Trocknungsgrad „frisch“ und „60 °C“ festzustellen. Zwischen dem Trocknungsgrad „60 °C und 105 °C“ ist kein signifikanter Verlust an Gärsäuren zu verzeichnen. Damit wird eine Korrektur der Trockensubstanz nur bei „frisch“, das heißt ungetrockneten Silageproben durchgeführt.

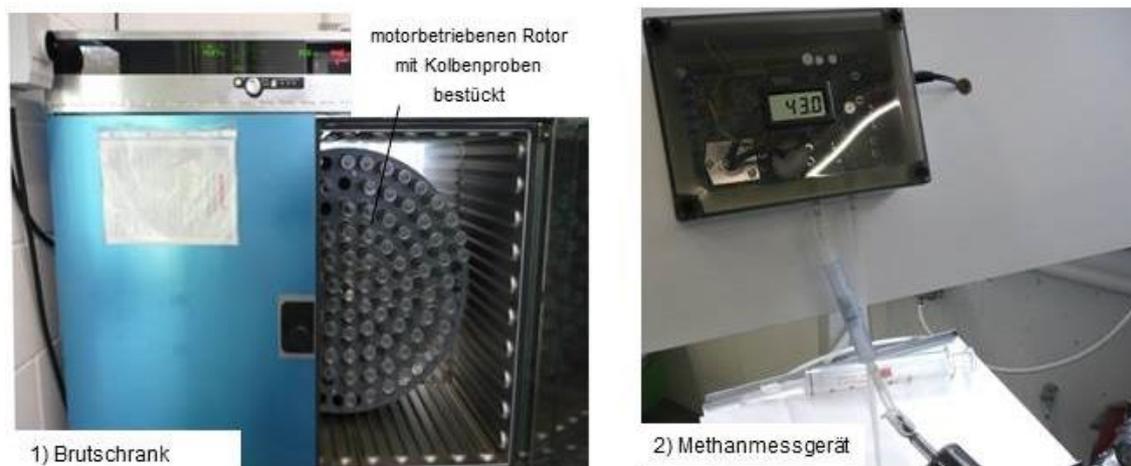
### 2.5.2 Methode: Hohenheimer Biogasertragstest (HBT)

Bei dieser Methode (Gärtest) werden das im Fermenter gebildete Biogasvolumen in Millilitern und der entsprechende Methangehalt in Prozent bestimmt. Die Methode ist seit 2002 als Batchversuch an einigen Standorten wie der Universität Hohenheim und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft etabliert.

<sup>1</sup> Inkorporation: Einbeziehung der noch nach dem Stoffumsatz vorhandenen 5%-igen bakteriellen Biomasse. Der Stoffumsatz erfolgt bis zur maximalen organischen Trockensubstanz.

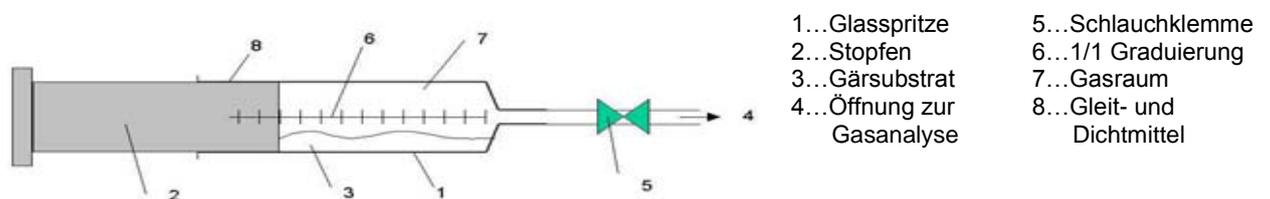
2006 wurde diese Methode in die VDI-Richtlinie 4630 aufgenommen. Vorteil dieser Methode ist ein hoher Probendurchsatz und eine gute Wiederholbarkeit. Ab 2012 konnte diese Methode am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie angewendet werden.

Die Versuchsanlage Hohenheimer Biogasertragstest ist eine Biogasanlage im Labormaßstab. Diese besteht aus einem Brutschrank (oder auch Trockenschrank) (Abbildung 4). Im Inneren sind zwei, im Abstand von wenigen Zentimetern übereinander angebrachte Drehscheiben mit Bohrungen (Rotor) befestigt. Der Rotor wird über ein Zahnrad durch einen 16-A-Starkstrommotor angetrieben. Durch die sehr langsame Drehbewegung des Rotors erfolgt eine kontinuierliche Durchmischung des Fermenterinhalt. In die Bohrungen der Drehscheiben werden die kleinen Fermenter, Glasspritzen oder Kolbenprober eingesteckt. Des Weiteren gehört zur Biogasanlage ein Infrarotmessgerät, das den Methangehalt der gebildeten Biogasvolumina misst, und eine Prüfgasflasche, die zur Überprüfung des Messgerätes dient (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Aufbau der Biogasanlage Hohenheimer Biogasertragstest (HBT)**

Die verwendeten kleinen Fermenter mit einem Volumen von 100 ml werden Kolbenprober genannt. Der Aufbau dieser Kolbenprober ist einer Glasspritze mit einem speziellen Kapillaransatz nachempfunden (Abbildung 5). Am Kapillaransatz sitzt ein Schlauchstück, das mit einer Schlauchklemme zum Öffnen und Schließen während der Gasmessung versehen ist. Damit der Stopfen des Kolbenprobers besser gleitet, wird dieser mit einem viskosem Schmiermittel (Silikonfett) eingefettet.



**Abbildung 5: Aufbau Fermenter des HBT (Schema eines Kolbenprobers)**

(Quelle: HELFFRICH & OECHSNER 2003)

Die Parameter Biogasvolumina und Methangehalt werden nach der hausinternen Arbeitsanleitung „Methanmessung“ von HELFFRICH & OECHSNER (2003) bestimmt. Für die Berechnung des spezifischen Gas- und Methanertrages wurde ebenfalls auf die von der Universität Hohenheim zur Verfügung gestellten hausinternen Excel-Tabellen zurückgegriffen. Darüber hinaus dienen die VDI-Richtlinie 4630 (2006) „Vergärung orga-

nischer Stoffe, Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche“ und die Verbandsmethode „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests“ (2011) des VDLUFA-Methodenbuches VII als Orientierungshilfe.

### 2.5.3 Durchführung der Methode im LfULG

Zur exakten Ermittlung des Gasvolumens wird eine Blindprobe, mittels eines sogenannten Inokulums benötigt. Für eine Blindprobe werden 50 g Inokulum (Impfgülle ohne Probenmaterial), auf 1/100 genau, in den Fermenter (nachfolgend Kolbenprober genannt) eingewogen. Bei dieser Probe wird das Biogasrestpotenzial bzw. die Eigengasbildung nach der Vorvergärung bei 37 °C bestimmt. Das Inokulum, welches von der Universität Hohenheim bezogen wurde, besteht aus einer definierten Menge an Maissilage, Weizen- und Sojashrot sowie Pflanzenöl und einer hemmstofffreien Rindergülle mit einem C/N-Verhältnis von 27 : 1. Die Blindprobe dient der Überprüfung des Restgasbildungspotenzials (Eigengasbildung) des Inokulums. In der Berechnung wird der Messwert der Blindprobe von den Probenergebnissen abgezogen. Neben dem Inokulum wurden auch die Referenzproben Heu und Kraftfutter von der Universität Hohenheim bezogen. Die Einwaage erfolgt hierbei analog zu dem zu untersuchenden Probenmaterial.

Für das zu untersuchende Probenmaterial werden 30 g Inokulum (Impfgülle), auf 1/100 genau, direkt in den Kolbenprober eingewogen und 400 mg, auf 1/1.000 genau, von der zu untersuchenden Probe zugegeben. Anschließend wird der gefettete Stopfen unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes vorsichtig in den Kolbenprober geschoben. Der Fermenter wird somit luftdicht verschlossen. Die so befüllten Kolbenprober werden der Reihe nach in die entsprechenden Bohrungen des Rotors gesteckt. Das Gerät kann mit insgesamt 129 Kolbenprobern, dies entspricht 43 Proben mit dreifacher Wiederholung, bestückt werden. Die Verweilzeit beträgt 35 Tage. Das Volumen (Startwert) am Kolbenprober und die Uhrzeit zum Versuchsbeginn müssen notiert werden. Bei der genannten Einwaage liegt der Startwert vor der Vergärung des Kolbenproberinhaltes zwischen 27 und 29 ml. Der Test wird gestartet, indem der Motor des Rotors und der Brutschrank angeschaltet werden. Die Gärtemperatur beträgt 37 °C.

In den ersten 15 Tagen werden etwa 80 % des gesamten Biogases gebildet. Der Methangehalt im Biogas kann ab einem gebildeten Biogasvolumen von 15–20 ml gemessen werden. Das Biogas wird dem Messgerät durch Einschieben des Stopfens zugeführt. Die Ablesewerte vor und nach jeder Messung am Kolbenprober müssen notiert werden. In der ersten Woche nach Versuchsbeginn ist für die Referenzprobe Kraftfutter und für die zu untersuchenden Maisproben die erste Messung (vier Messtage in der Woche) durchzuführen. In der zweiten Woche sind es nur noch drei Messtage, in der dritten und vierten Woche sind nur noch zwei Messtage erforderlich. In der fünften Woche wird nur noch einmal gemessen.

Neben der Uhrzeit zu Messbeginn und den Gasvolumina werden auch der am Messgerät angezeigte Methangehalt sowie die Umgebungsbedingungen Temperatur des Biogasansatzes (SOLL: 37 °C), Luftdruck (SOLL: 1.013 hPa) und der Methangehalt der Prüfgasflasche (SOLL: 60 %) notiert. Mit diesen Vorgaben kann der spezifische Gas- und Methanertrag auf Normbedingungen (SOLL-Werte) umgerechnet werden. Das Ergebnis wird in  $\text{NI CH}_4/\text{kg oTS}$  (bzw.  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg oTS}$ ) angegeben.

### 2.5.4 Phasen der Biogasetstehung:

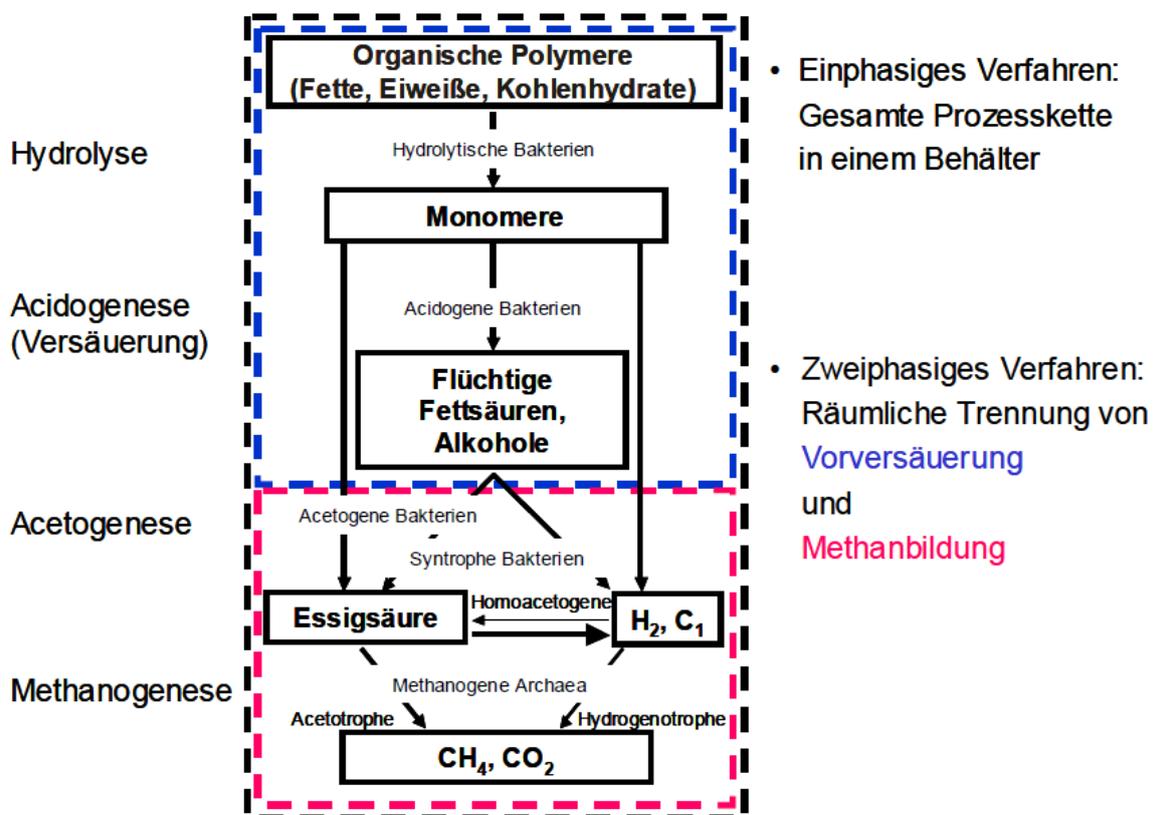
Abbildung 6 zeigt den Stoffumsatz von Biomasse zu Biogas im Fermenter (HBT: Kolbenprober). Der Stoffumsatz erfolgt in mehreren nacheinander ablaufenden Reaktionsstufen. Das in den Fermenter eingebrachte Pflanzenmaterial wird in insgesamt vier Phasen durch verschiedene Bakteriengruppen stufenweise zu Biogas umgewandelt:

In der **ersten Phase**, der Hydrolyse, werden die langkettigen Verbindungen wie Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate (Stärke) durch die hydrolytischen Bakterien in kurzkettige Verbindungen wie Fettsäuren, Aminosäuren und Kohlenhydrate (Zucker) aufgespalten.

In der **zweiten Phase**, die auch als Versäuerung oder Acidogenese bezeichnet wird, erfolgt der weitere Abbau in kurzkettige organische Säuren (z. B. Propionsäure) und Alkohole (z. B. Ethanol) durch acidogene Bakterien. Die kurzkettigen organischen Säuren sind die Nahrungsgrundlage der acetogenen Bakterien.

In der **3. Phase** (Phase der Essigsäurebildung) werden bei der Entstehung von Essigsäure auch Kohlendioxid und Wasserstoff freigesetzt.

In der sich anschließenden **4. Phase**, der Methanbildung, entstehen durch die methanogenen Bakterien als Hauptprodukt Methan und als Nebenprodukt Kohlendioxid. Schwefelwasserstoff, Ammoniumverbindungen und weitere Verbindungen sind in geringen Mengen im Gasgemisch enthalten.



(Quelle: BIOGASHANDBUCH BAYERN, MATERIALBAND, Kap. 1.1 bis 1.5)

**Abbildung 6: Phasen der Biogasentstehung (Schema)**

### 2.5.5 Teilnahme am Ringversuch Biogas, Plausibilität und Qualitätssicherung

Um die mit dem HBT erhaltenen Ergebnisse auf ihre Plausibilität prüfen zu können und um mehr Sicherheit in der praktischen Durchführung des Testes (Laborbiogasanlage) zu erhalten, hat sich das LfULG am Ringversuch Biogas, der durch die VDLUFA und das KTBL organisiert werden, in den Jahren 2013 und 2014 beteiligt. Für die Untersuchung der Gärrestproben im Ringversuch 2013 und 2014 wurde zusätzlich zu den oben genannten Arbeitsvorschriften die VDI-Richtlinie 3475 (2006) „Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger“ genutzt.

Im Ringversuch wurden Proben von Maissilage, Biertreber (vorgetrocknet), Grassilage und mikrokristalline Cellulose sowie Proben von flüssigen Gärresten auf Restgas- bzw. Biogasbildungspotenzial mit dem Hohenheimer Biogasertragstest untersucht.

Für das erfolgreiche Abschneiden am Ringversuch Biogas 2014 wurde ein Zertifikat ausgestellt. Die Gesamtteilnehmerzahl lag 2014 bei 37 Biogaslaboren.

Die durch die VDLUFA und das KTBL durchgeführten Auswertungen des Ringversuchs unterscheiden nicht zwischen den am Ringversuch teilgenommenen verschiedenen Methoden für die Bestimmung des Biogasbildungspotenzials und des spezifischen Methanertrages. Dadurch kann gezeigt werden, dass unterschiedliche Methoden von Gärversuchen zu ähnlichen Ergebnissen kommen können.

Neben der Teilnahme am Ringversuch und den bei jedem Biogasansatz mitgeführten Referenzproben (Heu- und Krafftutterprobe) wurden am Anfang und am Ende der Inbetriebnahme des Tests Proben für Wiederfindungsrate und Wiederholbarkeit ausgewählt.

Die Ergebnisse der Biogasmessung unterliegen sehr vielen Einflussfaktoren wie der Zusammensetzung des Inokulums (Mikrobiologie), den Umgebungsbedingungen, der gesamten Probenahme und -aufbereitung, der Substratinhaltsstoffe. Die Vergärung als ein biologischer Prozess ist daher nicht genau zu kalkulieren.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Bestimmung der Pflanzeninhaltsstoffe

#### 3.1.1 Makronährstoffe

Die in den Sortenversuchen durchgeführten Makronährstoffanalysen dienten der Abschätzung des Nährstoffbedarfs von Sorghum und der im Rahmen der Grunddüngung einzuplanenden Nährstoffentzüge. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 zusammengetragen.

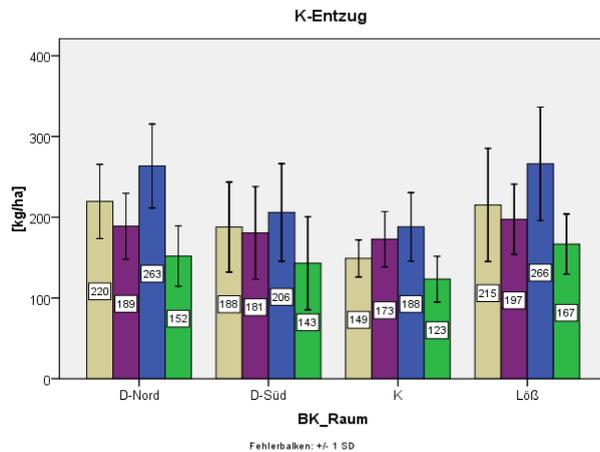
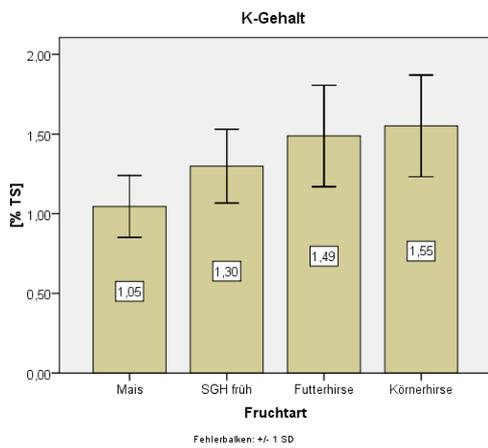
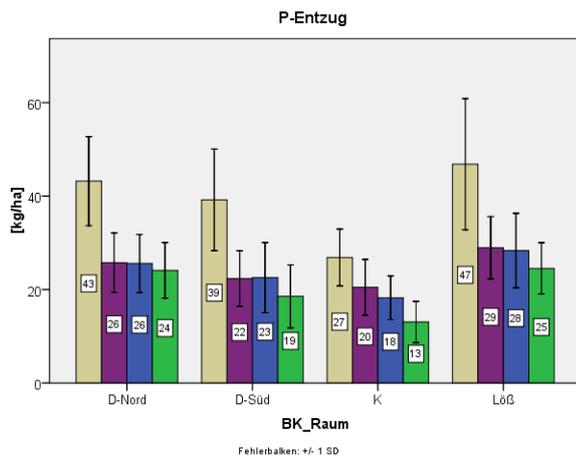
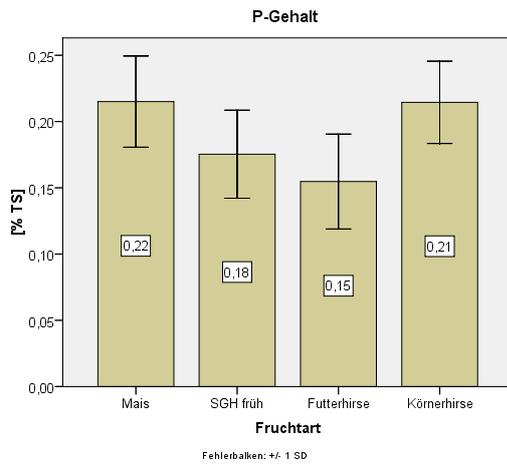
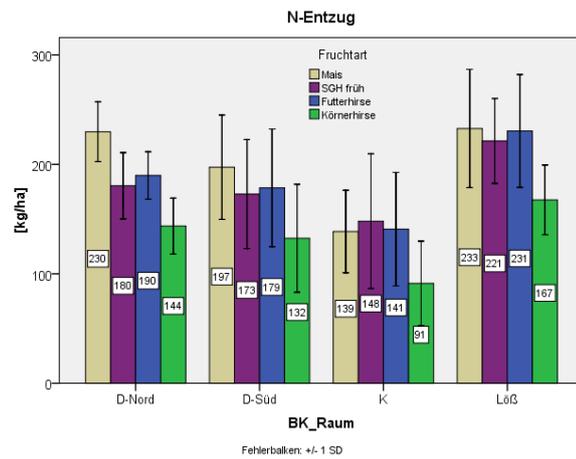
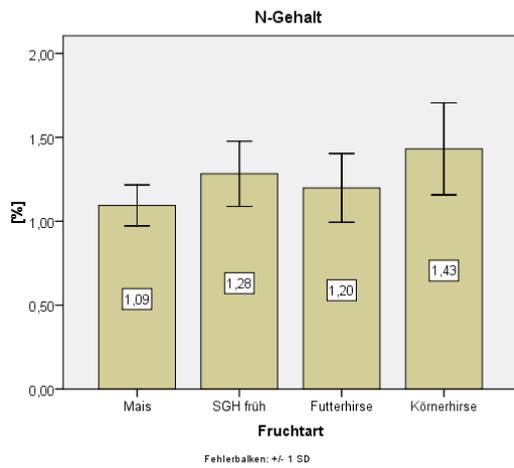
Innerhalb der Sorghumarten und -sorten zeichnete sich die kurzstrohige Körnerhirse fast ausnahmslos durch höhere Makronährstoffgehalte aus. Unterschiede in der mineralischen Zusammensetzung zwischen Mais und Sorghum waren insbesondere bei den Nährstoffen Kalium und Calcium, aber auch bei Stickstoff zu verzeichnen. Alle Füttersorghumarten und -sorten wiesen deutlich höhere Gehalte an Kalium (1,30–1,55 % i. d. TS) und Calcium (0,33–0,35 % i. d. TS) als der Mais (K: 1,05 % i. d. TS, Ca: 0,24 % i. d. TS) auf. Bei der Körnerhirse, aber auch bei den frühreifen Sudangrasybriden wurden zudem vergleichsweise höhere Stickstoffgehalte (1,43 bzw. 1,28 % i. d. TS) als bei Mais zur Ernte festgestellt. Bei Schwefel und Magnesium waren keine nennenswerten Gehaltsunterschiede zwischen Mais und Sorghum festzustellen. Lediglich die Körnerhirse zeigte höhere Werte. Die Phosphorgehalte bei den Futterhirsens und Sudangrasybriden waren im Vergleich zum Mais und zur Körnerhirse geringer.

Anhand der Nährstoffgehalte und der erzielten Erträge wurden die Nährstoffentzüge bei Mais und Sorghum berechnet. Diese sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 in Abhängigkeit von der Anbauregion dargestellt. Die Nährstoffentzüge variierten bei allen Kulturen in Abhängigkeit von Anbauregion, Standort, Sorte und Jahr beträchtlich. Mais und Füttersorghum wiesen auf allen Standorten, insbesondere auf den fruchtbaren Lössböden, auf Grund hoher Erträge enorme Nährstoffentzüge auf.

Beachtenswert waren die sehr hohen Entzüge an **Kalium** bei den Futterhirsen. Diese lagen mit 188 kg/ha auf den Kippen-Standorten und über 260 kg/ha auf den D-Nord- und Lössstandorten durchgängig über denen des Mais (149–220 kg/ha). Auch die weniger ertragreichen Sudangrashybriden entzogen standortabhängig (Anbauregion D-Süd und K) ähnliche bzw. sogar höhere Mengen an Kalium als der Mais. Auf Grund der deutlich höheren **Calcium**gehalte waren bei den Futtersorghumarten (34–68 kg/ha) zudem auf allen Standorten höhere Calciumentzüge als beim Mais (27–60 kg/ha) zu verzeichnen. Die **Stickstoff**entzüge bei den Sudangrashybriden und Futterhirsen lagen je nach Standort auf geringerem Niveau gegenüber Mais und variierten je nach Anbauregion zwischen 141 kg/ha und 231 kg/ha. Die Entzüge bei Mais waren auf den D-Nord- und D-Süd-Standorten sichtbar höher als bei Sorghum. Die **Phosphat**entzüge bei Mais lagen auf allen Standorten über denen von Sorghum.

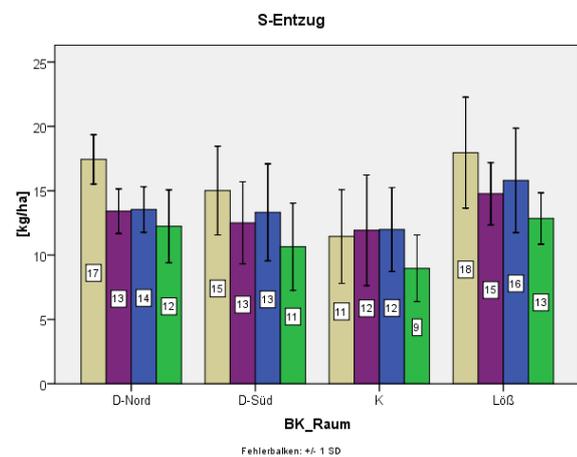
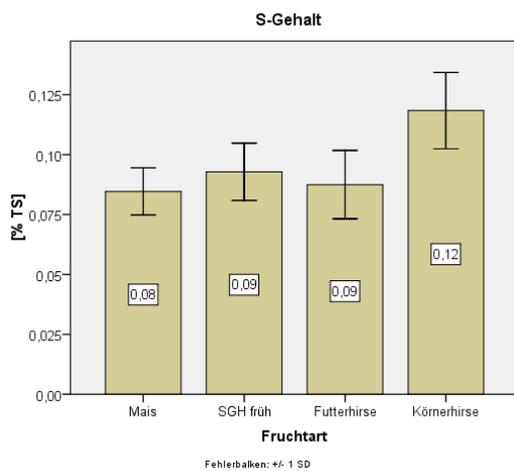
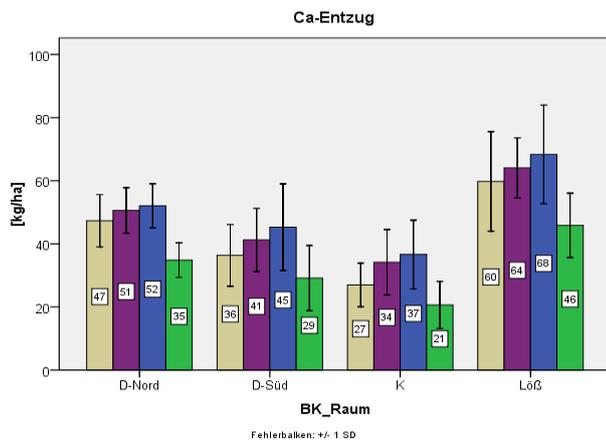
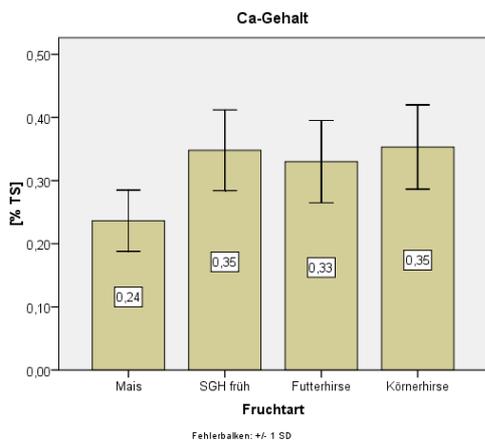
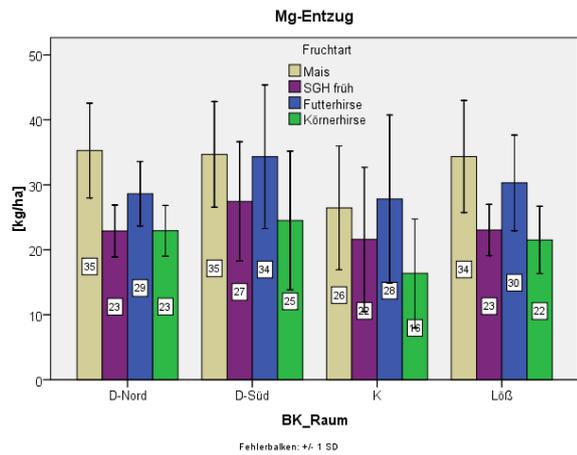
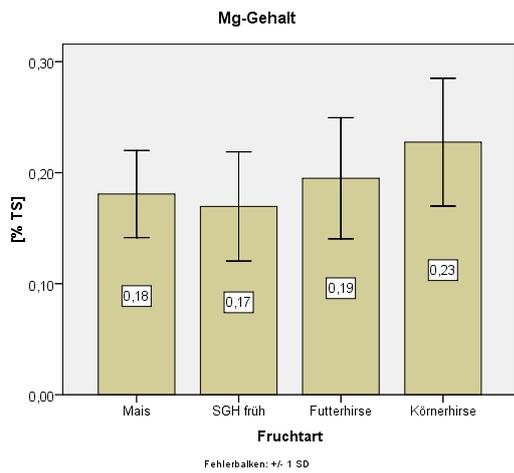
Der Anbau der ertragsschwächeren **Körnerhirse** war standortübergreifend mit deutlich geringeren Nährstoffentzügen als bei Mais und Futtersorghum verbunden. Angesichts der hohen Nährstoffgehalte waren jedoch auch bei der Körnerhirse standortabhängig, vor allem auf den Lössstandorten, hohe Entzüge an Kali und Stickstoff von bis zu 167 kg/ha zu verzeichnen.

Der hohe Kaliumentzug ist bei der Düngung von Sorghum, aber auch bei der Nährstoffversorgung der Nachfrucht zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für leichte, sorptionsschwache Böden, auf denen Sorghum vorrangig angebaut wird.



BK-Boden-Klima-Raum

**Abbildung 7: Gehalte und Entzüge an Stickstoff, Phosphor und Kalium bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)**



BK-Boden-Klima-Raum

**Abbildung 8: Gehalte und Entzüge an Magnesium, Calcium und Schwefel bei Mais und Sorghum, Sortenversuch 2011–2013 (Mittel der Sorten, Standorte und Jahre)**

### 3.1.2 Rohnährstoffe

In Tabelle 9 ist die inhaltsstoffliche Zusammensetzung der in den Sortenversuchen geprüften Sorghumarten im Vergleich zu Mais im Mittel der Sorten, Standorte und Versuchsjahre dargestellt. Die Sudangrasybriden wurden entsprechend ihres Abreifeverhaltens in früh- und spätreife Sorten eingeteilt. Letztgenannte wurden aufgrund ihrer geringen Anbaueignung für die Praxis nur einjährig geprüft und werden daher im Folgenden nicht betrachtet. Im Jahr 2012 war neben den Futtersorghumarten erstmals eine Körnerhirse im Sortenversuch vertreten.

Der Parameter **Stärke** wurde nur in den Maisproben und in der Körnerhirse bestimmt, weil hier auf Grund der Kolben- bzw. Kornbildung hohe Stärkegehalte zu erwarten sind. Der Mais zeichnete sich im dreijährigen Versuchszeitraum standort- und jahresabhängig durch mittlere bis hohe Stärkegehalte bei günstigen TS-Gehalten zur Ernte aus. In der kurzstrohigen und kornbetonten Sorghumhirse waren hingegen standortabhängig nennenswerte Stärkegehalte nachweisbar, insbesondere bei gutem Kornansatz und guter Kornausreife. Bei Futterhirse konnten hingegen nur in Ausnahmefällen nennenswerte Stärkegehalte festgestellt werden, auch im BBCH-Stadium Samenreife ist der Stärkegehalt vernachlässigbar gering, weil der Samenanteil bzw. die Ausbildung der Körner im Vergleich zur Ganzpflanze sehr klein ist. Hier ist eher mit höheren Anteilen an **Zucker** zu rechnen. Der Ertrag dieser Genotypen setzt sich nahezu vollständig aus vegetativer Spross- und Blattmasse zusammen. Die Körner in der Rispe, insofern sie überhaupt ausgebildet werden, sind nicht ertragsrelevant und haben somit keinen nennenswerten Einfluss auf die inhaltsstoffliche Zusammensetzung.

Das Gasbildungspotenzial pflanzlicher Substrate wird nach WEISSBACH (2009) vorrangig durch die Anteile an schwer bzw. nicht abbaubaren Zellwandbestandteilen, die für die Mikroorganismen im Fermenter nicht bzw. nur eingeschränkt nutzbar sind, bestimmt. Sowohl Futter- als auch Körnersorghum weisen sichtbar höhere **Rohfasergehalte** (27,0–34,9 % i. d. TS) als der Mais (20,3 % i. d. TS) auf und lassen somit deutliche Nachteile in der Methanausbeute erwarten. Die Futterhirschen und die Sudangrasybriden sind sich in ihrer stofflichen Zusammensetzung sehr ähnlich, wobei die frühereifere Sudangrasybriden aufgrund der oftmals stärkeren Abreife zur Ernte (TS-Gehalt) offenbar verstärkt zur Lignineinlagerung neigen. Nach der WEISSBACH-Formel kann bei beiden Sorghumarten von einem vergleichbaren Methanbildungspotenzial ausgegangen werden, das etwa 20 % unter dem des Mais (352 NI kg oTS) liegen dürfte. Die kompakte Körnerhirse ordnete sich aufgrund der geringeren Rohfasergehalte bezüglich der Methanausbeute zwischen Futtersorghum und Mais ein (320 NI kg oTS). Die stoffliche Zusammensetzung und damit das Methanbildungspotenzial schwankten sowohl bei Mais als auch bei Sorghum standort- und jahresabhängig mitunter stark.

**Tabelle 9: Mittlere Gehalte an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen bei Mais und Sorghum – Sortenversuch 2011–2013 (Standort- und Sortenmittel)**

Parameter	Einheit	Mais n = 84		SGH früh n = 112		Futterhirse n = 322		Körnerhirse n = 28		SGH spät n = 84	
		MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW
TS	%	33,4	3,8	31,0	3,4	26,0	3,3	25,7	3,7	23,5	2,5
Rohprotein	% TS	6,8	0,8	8,0	1,2	7,5	1,3	8,9	1,7	8,7	1,5
Rohfett	% TS	2,3	0,5	1,3	0,2	1,1	0,3	1,7	0,3	1,3	0,3
Stärke	% TS	26,2	6,6	*		*		8,5	7,6	*	
Zucker	% TS	6,9	2,7	8,3	3,1	13,9	4,9	10,2	5,2	16,9	5,4
ELOS	% TS	64,9	3,8	43,0	4,1	46,7	4,6	53,1	4,0	52,1	4,4
Rohasche	% TS	4,4	0,7	4,8	1,1	5,4	1,1	7,0	1,5	6,6	1,3
Rohfaser	% TS	20,3	2,8	34,5	2,9	34,9	2,9	27,0	4,5	29,4	2,6
<sup>a</sup> NDF <sub>om</sub>	% TS	42,9	4,5	67,3	3,9	64,9	4,9	60,1	5,2	58,5	4,8
ADF <sub>om</sub>	% TS	25,1	3,0	36,8	4,0	35,7	4,4	31,9	3,9	33,3	2,6
ADL	% TS	2,2	0,4	6,6	1,4	5,6	1,6	6,2	1,8	5,3	1,4

\* keine Stärkeanalyse mit NIRS möglich

Um Zusammenhänge zwischen der Methanausbeute und einzelnen Inhaltsstoffen sowie dem Einfluss der Abreife der Pflanzen auf das Gasbildungspotenzial zu untersuchen, wurde anhand der Daten des Kernsortiments eine Korrelationsanalyse (nach PEARSON) durchgeführt (Tabelle 10).

Bei den Sudangrashybriden und den Fittersorghum konnte ein moderater Zusammenhang zwischen der Abreife der Pflanzen (TS-Gehalt) und den Gehalten an Cellulose und Lignin ( $ADF_{om}$ ) bzw. Lignin (ADL) festgestellt werden ( $r_p = 0,232^*$  bis  $0,385^{**}$ ), d. h. mit zunehmenden TS-Gehalten zur Ernte ging eine moderate Zunahme der Gehalte an schwer abbaubaren Zellwandbestandteilen einher. Ein Zusammenhang zwischen Abreife und Methanausbeute war hingegen nicht zu beobachten.

Bei der Körnerhirse, die standort- und jahresabhängig zum Teil sehr geringe TS-Gehalte zur Ernte aufwies, wirkte sich eine bessere Ausreife deutlich positiv auf den Stärkegehalt ( $r_p = 0,680^{**}$ ) und die Verdaulichkeit ( $r_p = 0,543^{**}$ ) aus und war mit einem Rückgang der Rohfaser ( $r_p = -0,504^{**}$ ) und somit einem Anstieg der Methanausbeute ( $r_p = 0,511^{**}$ ) verbunden. Bei den Futterhirschen und Körnerhirschen konnte zudem ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen Abreife und TM-Ertrag festgestellt werden. Vor allem bei den spätreifen Futterhirschen gehen Ertragsdepressionen, verursacht durch suboptimale Wachstumsbedingungen (Kühle, Trockenheit), mit einer verzögerten Ausreife einher. Der TS-Gehalt beim Mais hatte mit Ausnahme des Zuckergehaltes keinen Einfluss auf die stoffliche Zusammensetzung und die Methanausbeute.

Erwartungsgemäß stand die Methanausbeute bei Mais und Sorghum (sowohl Futter- als auch Körnersorghum) in deutlichem Zusammenhang mit den Gehalten an schwer abbaubaren Faserbestandteilen  $ADF_{om}$  ( $r_p = -0,639^{**}$  bis  $-0,953^{**}$ ). Eine deutliche Rolle spielt ebenfalls die Verdaulichkeit der organischen Substanz ELOS ( $r_p = 0,604^{**}$  bis  $0,915^{**}$ ), wobei diese Zusammenhänge beim Mais deutlicher ausgeprägt sind als bei Sorghum. Die Korrelation zum Lignin lag bei allen Kulturen (außer Körnerhirse) im mittleren Bereich. Weil die Methanausbeuten rechnerisch anhand der Rohfaser ermittelt wurden, liegen die Korrelationskoeffizienten bei allen Fruchtarten nahezu bei 1. Die Methanausbeute bei Mais und Körnersorghum stand zudem in deutlichem Zusammenhang mit dem Stärkegehalt, der erwartungsgemäß negativ mit der Rohfaser korrelierte ( $r_p = -0,816^{**}$  bzw.  $-0,643^{**}$ ). Bei geringem Kolbenansatz beim Mais bzw. schlechter Einkörnung und ungenügender Kornausreife bei der Körnerhirse verschiebt sich das Verhältnis von Korn zu Restpflanze und somit das Verhältnis von Nicht-Faserkohlenhydraten zu Gunsten der Faserbestandteile, wodurch mit einem geringeren Gaspotenzial zu rechnen ist.

**Tabelle 10: Korrelationsmatrix Inhaltsstoffe und Methanausbeute**

Fruchtart			TM-Ertrag	TS	Stärke	Zucker	ELOS	Rohfaser	$ADF_{om}$	ADL	Methan
Mais	TS	$r_p =$	,200	1	,283 <sup>*</sup>	-,405 <sup>**</sup>	-,049	-,002	,126	,026	-,008
	Stärke	$r_p =$	,166	,283 <sup>*</sup>	1	-,652 <sup>**</sup>	,723 <sup>**</sup>	-,816 <sup>**</sup>	-,694 <sup>**</sup>	-,440 <sup>**</sup>	,812 <sup>**</sup>
	Methan	$r_p =$	,144	-,008	,812 <sup>**</sup>	-,241 <sup>*</sup>	,915 <sup>**</sup>	-,998 <sup>**</sup>	-,953 <sup>**</sup>	-,593 <sup>**</sup>	1
Sudangrashybride	TS	$r_p =$	,036	1	. <sup>a</sup>	-,421 <sup>**</sup>	-,089	,071	,232 <sup>*</sup>	,375 <sup>**</sup>	-,069
	Methan	$r_p =$	,024	-,069	. <sup>a</sup>	,322 <sup>**</sup>	,741 <sup>**</sup>	-,994 <sup>**</sup>	-,705 <sup>**</sup>	-,524 <sup>**</sup>	1
Futterhirse	TS	$r_p =$	,475 <sup>**</sup>	1	. <sup>a</sup>	-,009	-,300 <sup>**</sup>	,049	,385 <sup>**</sup>	,337 <sup>**</sup>	-,027
	Methan	$r_p =$	-,173	-,027	. <sup>a</sup>	,640 <sup>**</sup>	,604 <sup>**</sup>	-,993 <sup>**</sup>	-,639 <sup>**</sup>	-,492 <sup>**</sup>	1
Körnerhirse	TS	$r_p =$	,423 <sup>*</sup>	1	,680 <sup>**</sup>	-,059	,543 <sup>**</sup>	-,504 <sup>**</sup>	-,259	,133	,511 <sup>**</sup>
	Stärke	$r_p =$	,626 <sup>**</sup>	,680 <sup>**</sup>	1	-,347	,383 <sup>*</sup>	-,643 <sup>**</sup>	-,254	,203	,627 <sup>**</sup>
	Methan	$r_p =$	,688 <sup>**</sup>	,511 <sup>**</sup>	,627 <sup>**</sup>	,231	,692 <sup>**</sup>	-,994 <sup>**</sup>	-,777 <sup>**</sup>	-,336	1

( $r_p$  = Korrelationskoeffizient nach Pearson); Methanausbeute berechnet nach WEISSBACH

## 3.2 Bestimmung der Silagequalität

Die Qualitäten der hergestellten „Versuchssilagen“ sind im Anhang 7 bis 16 dargestellt. Bei den hergestellten Silagen sind deutliche Qualitätsunterschiede zu erkennen. Die Ergebnisse fallen teilweise auch innerhalb eines Standortes sehr unterschiedlich aus. Fast drei Viertel der Silagen aller Standorte waren vom Schimmel befallen. Dies deutet auf einen nicht luftdichten Verschluss bzw. eine zu geringe Verpressung der Silagen hin. Die Qualität der einsilierten Proben aus dem Sortenversuch 2011 war im Durchschnitt deutlich schlechter als die aus dem Sortenversuch 2012. Daraus ist zu schließen, dass bereits im zweiten Versuchsjahr die Erfahrungen aus dem ersten Versuchsjahr zur Verbesserung der Silagequalitäten beigetragen haben.

Die Silagequalitäten in der landwirtschaftlichen Praxis sind deutlich besser als in den Kleingefäßen der durchgeführten Versuche.

Die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung einiger weniger Silagen sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Silagen wurden auf Grund ihrer Inhaltsstoffe mit den bestehenden Orientierungswerten des VDLUFA für Maissilage beurteilt. Eine Qualitätsstufe (QS) von I bis IV ergibt sich bei der Beurteilung der erhobenen Befunde in den einzelnen Keimgruppen mit den jeweiligen Orientierungswerten (OW). Bei Überschreitung des Orientierungswertes eines oder mehrerer Keimgruppen bis zum fünffachen Gehalt ergibt die QS II, bis zum Zehnfachen die QS III, eine Überschreitung der Keimzahlen um mehr als das Zehnfache des OW bedingt die QS IV.

**Tabelle 11: Beurteilung der Silagequalität inklusive Mikrobiologie**

Sorte	TS %	Geruch	Feuchte	Farbe	Enterobakterien KBE/g	Bazillen KBE/g	Streptomyceten KBE/g	Penicillium KBE/g	Geotrichum candi- dum KBE/g	Hefen KBE/g	sulfitreduzierende Clostridien KBE/g	Milchsäure- bakterien KBE/g	QS nach VdLUFA 28.1.4 für Mais- silage
Atletico (H-Termin)	37	schimmelig, nicht arteigen, vergoren	trocken, kein Sickerwasser	n. b.	< 50	< 50	10 Mio.	< 50	2 Mio.	10 Mio.	< 5	80 Mio.	
					I	I	IV	I	IV	III			IV
Atletico (M-Termin)	..	hefig	trocken, kein Sickerwasser	gelb	465 Tsd	50 Tsd	< 50	< 50	< 50	265 Tsd	< 5	5,45 Mio.	
					II	I	I	I	I	I			II
Lussi	33	schimmelig	n. b.	n. b.	1250	600	< 50	2000	< 50	65500	< 5	16,1 Mio.	
					I	I	I	I	I	I			I
Lussi	26	frisch, fruchtig, nach Essig, Alkohol	handfeucht, kein Sickerwasser	grün	10 Mio.	< 50	< 50	1550	< 50	6 Mio.	< 5	80 Mio.	
					IV	I	I	I	I	III			IV
Latte	25	schwach nach Essig, gärig	nass, Sickerwasser vorhanden	braun-grün	57500	4500	11000	30000	< 50	3 Mio.	< 5	80 Mio.	
					II	I	I	III	I	II			III
Sucrosorgo 506	26	säuerlich,	nass, Sickerwasser vorhanden	gelb-grün	3500	< 50	26500	10000	100	780000	< 5	50 Mio.	
					I	I	I	II	II	I			II
KWS Zerberus	30	schimmelig	trocken, kein Sickerwasser	gelb	650	550	< 50	100	< 50	775000	< 5	50 Mio.	
					I	I	I	I	I	I			I
KWS Odin	31	stechend, schwach nach Essig	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	900	3250	< 50	1000	< 50	5 Mio.	< 5	80 Mio.	
					I	I	I	I	I	III			III

QS - Qualitätsstufe

Wie in früheren Untersuchungen (WESOLOWSKI et al. 2006) festgestellt wurde, haben mykotoxinhaltige Substrate keinen negativen Einfluss auf den Vergärungsprozess und die Prozessstabilität. Jedoch ist bei einer schlechten Silage, die sich durch höhere Gehalte an Buttersäure auszeichnet, mit Methangasverlusten zu rechnen.

### 3.3 Biogasbildungspotenzial – mathematischer Ansatz nach WEISSBACH

#### Standort- und Jahreseinfluss

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind die Methanausbeuten (kalkuliert nach WEISSBACH) von Mais und Sorghum in Abhängigkeit von Anbauregion und Erntejahr dargestellt. Die Fruchtarten waren während des Anbaus starken standort- und witterungsbedingten Schwankungen unterworfen.

Bei Betrachtung der Methanausbeuten im dreijährigen Mittel sind die Relationen in der Methanausbeute zwischen Mais und Sorghum an allen Standorten nahezu identisch (Abbildung 9). Die Futtersorghumsorten erreichten etwa 80 bis 82 % der Methanausbeute des Mais (kalkuliert nach WEISSBACH). Sichtbare Unterschiede zwischen Futterhirsen und Sudangrashybriden waren nur auf den Lössstandorten festzustellen. Hier erbringen rechnerisch die Sudangrashybriden eine um 10 NI höhere Methanausbeute als die Futterhirse. Die Methanausbeute der Körnerhirse schwankte in Abhängigkeit von der Anbauregion sehr deutlich (299–338 NI/kg oTS) und somit auch die Relationen zum Mais. Diese waren im Mittel der Jahre 2012/2013 auf den D-Nord- (96 % relativ) und Lössstandorten (92 % relativ) deutlich günstiger als in den trockeneren Anbauregionen D-Süd und K (89 % relativ).

Bei der fruchtartspezifischen Betrachtung der Einzeljahre in den jeweiligen Anbauregionen zeigt sich der Umwelteinfluss auf die Methanausbeute (Abbildung 10). Beim **Mais** waren auf den D-Nord und Lössstandorten nur geringe Abweichungen in der Methanausbeute zwischen den Jahren festzustellen. In den durch Sommertrockenheit und leichte Böden gekennzeichneten Anbauregionen D-Süd und K wurde in den Jahren 2012 und 2013 hingegen ein deutlicher Rückgang der Methanausbeuten im Vergleich zum witterungsbegünstigten Jahr 2011 beobachtet. Temporärer Wassermangel führte oftmals zu einer schlechteren Kolbenausbildung und einer stärkeren Abreife der Restpflanze (Verstrohung). Auf den guten Lössböden und niederschlagsreicheren Standorten in der Region D-Nord war dies hingegen eher seltener der Fall (standort- und jahresabhängig).

Bei der **Körnerhirse** wurden in allen Anbauregionen deutliche Unterschiede in der errechneten Methanausbeute zwischen den beiden Versuchsjahren beobachtet. Im Jahr 2012 wurde die Körnerhirse gemäß Züchterangaben in den frühen Ernteblock eingeordnet und somit zeitgleich mit den Sudangrashybriden geerntet. Die Pflanzen waren zur Ernte jedoch oftmals erst am Beginn der Kornfüllung, sodass die qualitativen Vorzüge der Körnerhirse häufig nicht zum Tragen kamen. Der gemeinsame Erntetermin mit den spätreifen Futterhirsen im Folgejahr brachte auf den D-Nord- und Lössstandorten sichtbare Vorteile in der Methanausbeute. Hier wurden (z. T. standortabhängig) vergleichbare Methanausbeuten wie bei Mais festgestellt. In den Anbauregionen D-Süd und K waren im zweiten Erntejahr hingegen deutliche Nachteile in der Gasausbeute zu verzeichnen. Die heiße und trockene Witterung zur Blüte beeinträchtigte vielerorts die Befruchtung, sodass der Kornansatz sich nicht optimal entwickeln konnte. Die längere Standzeit führte unter trockeneren Bedingungen womöglich auch zu einer stärkeren Verholzung der Restpflanze.

Die Methanausbeuten der **Futtersorghumsorten** schwankten in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und dem Anbaujahr zum Teil sehr stark. Bei den **Sudangrashybriden** waren im Jahr 2013 an allen Standorten rechnerisch höhere Methanausbeuten als in den Vorjahren zu beobachten. Beim Vergleich der Anbauregionen fällt auf, dass die Sudangrashybriden in den Jahren 2012 und 2013 auf den D-Süd und K-Standorten geringere Methanausbeuten als in den anderen Anbauregionen zeigten. Bei hohen Tempera-

turen, starker Sonneneinstrahlung und temporärem Wassermangel neigen die frühreifen Sorten offensichtlich vergleichsweise stärker zur Verholzung.

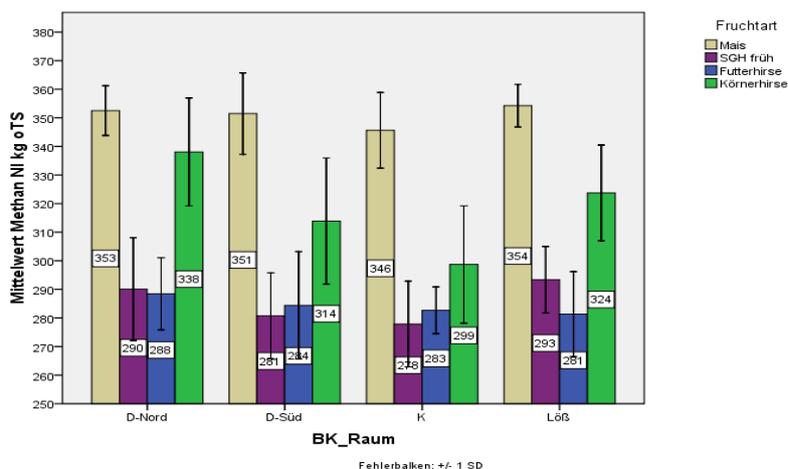
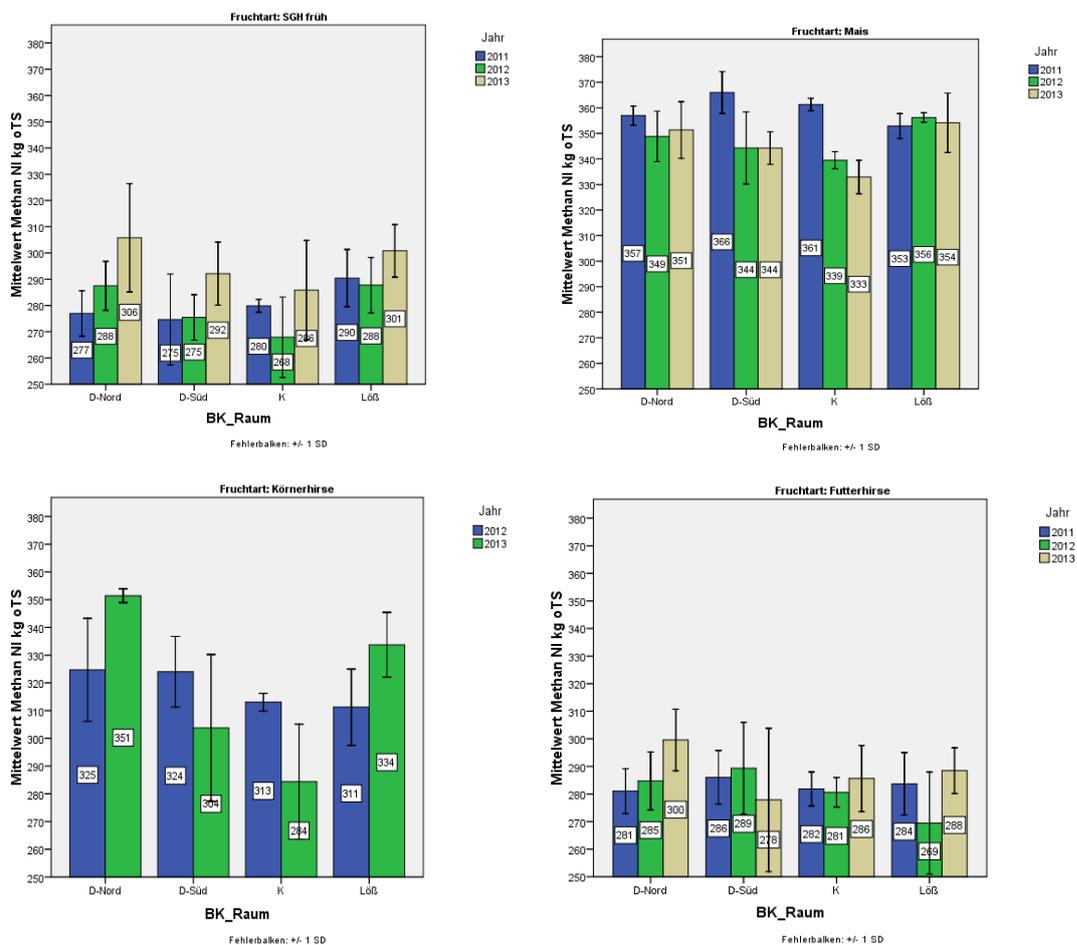


Abbildung 9: Methanausbeute von Mais, Sudangrashybride, Futter- und Körnersorghum in den Anbauregionen im Mittel der Jahre 2011–2013 (berechnet nach WEISSBACH)



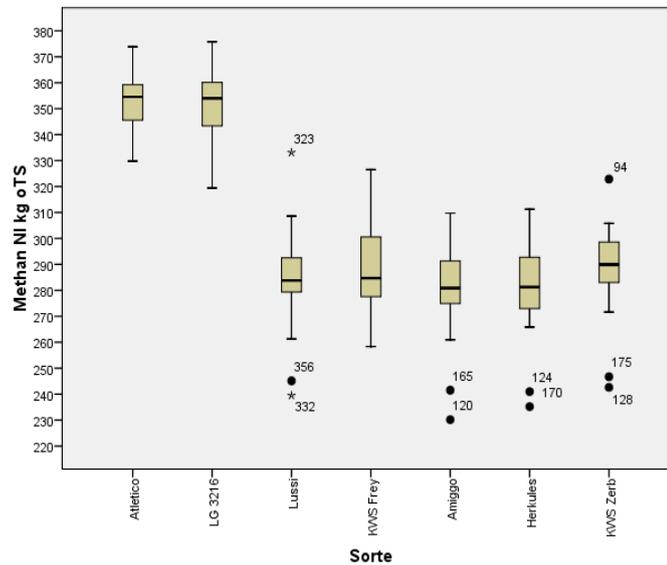
BK-Boden-Klima-Raum

Abbildung 10: Methanausbeute von Mais, Sudangrashybride, Futter- und Körnersorghum in Abhängigkeit von Anbauregion und Jahr (berechnet nach WEISSBACH)

## Sorteneinfluss

In Abbildung 11 ist die Methanausbeute der geprüften Mais- und Sorghumsorten im dreijährigen (2011–2013) Vergleich im Mittel der Versuchsstandorte dargestellt.

Zwischen den dreijährig geprüften Futtersorghumsorten konnten keine Unterschiede im Methanbildungspotenzial festgestellt werden. Der Fokus bei der Sortenwahl liegt daher vorrangig auf einem guten Kompromiss aus hoher Ertragsleistung und sicherer Abreife bei guter Standfestigkeit.



**Abbildung 11: Vergleich der geprüften Mais und Sorghumsorten hinsichtlich Methanausbeute (berechnet nach WEISSBACH)**

Die 2012 erstmals geprüfte **Körnerhirse Farmsugro 180** ordnete sich bezüglich der Methanausbeute zwischen den Futtersorghumarten und Mais ein (Abbildung 9), wies jedoch eine vergleichsweise höhere Schwankungsbreite auf (270–360 NI/kg oTS). Bei guter Einkörnung und Kornausreife erreichte die Sorte mitunter Methanausbeuten auf Maisniveau. War dies jedoch witterungsbedingt nicht der Fall, fielen die Vorteile im Vergleich zu den Futtersorghumarten eher mäßig aus. Angesichts der starken Nachteile im Ertrag erscheint der Anbau sehr unsicher und nur dann sinnvoll, wenn eine mit Mais vergleichbare Methanausbeute erreicht werden kann. Dies war jedoch nur an wenigen Standorten der Fall.

## 3.4 Gemessene Methanausbeuten Sortenversuch – Häckselgut

Die im Batch-Versuch mit dem Hohenheimer Biogasertragstest gemessenen Methanausbeuten des getrockneten Häckselgutes von Mais und Sorghum erlauben Aussagen zum tatsächlich möglichen Biogas- bzw. Methanbildungspotenzial der Substrate.

Die Methanausbeuten der einzelnen Sorten und Standorte sind in Tabelle 12 dargestellt. Wie erkennbar ist, schwanken die Methanausbeuten sowohl in Abhängigkeit der Standorte als auch der Jahre.

**Tabelle 12: Gemessene Methanausbeuten (NI CH<sub>4</sub>/kg oTS) im Häckselgut (2011–2013)**

Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Gülzow	Poppenburg	Güterfelde	Welzow	Trossin	Straubing
Mais	Atletico	2011	341	318	338	354	341	322
		2012	336	n. b.	n. b.	339	304	315
		2013	331	n. b.	n. b.	n. b.	337	333
	LG 3216	2011	341	312	333	n. b.	339	n. b.
Sudangras	Lussi	2011	274	256	244	263	275	246
		2012	289	n. b.	n. b.	308	246	246
		2013	298	n. b.	n. b.	296	294	310
	KWS Freya	2011	266	269	229	n. b.	302	308
		2013	293	n. b.	n. b.	n. b.	294	331
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	292	n. b.	n. b.	322	307	296
		2013	313	n. b.	n. b.	299	322	n.b.
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	282	277	242	284	294	312
		2012	317	n. b.	n. b.	314	306	273
		2013	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	Herkules	2011	244	276	237	294	279	n. b.
		2012	314	n. b.	n. b.	311	308	268
		2013	318	n. b.	n. b.	299	329	301
	KWS Zerberus	2011	268	281	256	284	318	n. b.
		2012	317	n. b.	n. b.	317	299	278
		2013	317	n. b.	n. b.	312	320	316
	Amiggo	2011	215	243	234	n. b.	296	307
		2013	305	n. b.	n. b.	n. b.	310	n. b.
	KWS Odin	2011	264	254	232	n. b.	299	n. b.
	Biomasse 150	2011	206	255	236	n. b.	308	323
BMR 201	2011	305**	n. b.	n. b.	n. b.	332**	n. b.	
Methode: Hohenheimer Biogasertragstest			n.b. nicht bestimmt					

Der Mais erreicht im Durchschnitt aller Proben eine Methanausbeute von 331 NI/kg oTS. Die Körnerhirse erreichte 93 % dieses Wertes. Bei den anderen Sorghumsorten wurden 84 bzw. 86 % des Wertes von Mais erreicht. Wie die Standardabweichung zeigt (Tabelle 13), schwanken die Methanausbeuten besonders bei den Sudangrasybriden und bei den Futterhirsens.

**Tabelle 13: Auswertung der gemessenen Methanausbeuten (HBT) im Häckselgut (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011–2013)**

Fruchtart	n	Methanausbeute [NI/kg oTS]			
		Min	Max	MW[%]	Stabw
Mais	13	304	354	331/100	13
Sudangrasybride	22	229	331	279/84	27
Futterhirse	52	206	329	286/86	31
Körnerhirse	7	292	322	307/93	12

### 3.5 Gemessene Methanausbeuten Sortenversuch – Silage

Weil die untersuchten Silagen verfahrensbedingt getrocknet wurden, beziehen sich die erzielten Gasausbeuten auf das von flüchtigen Substanzen befreite Substrat. Es wurden ausschließlich silierte Proben der Erntejahre 2011 und 2012 untersucht. Die Ergebnisse sind in den Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellt.

**Tabelle 14: Gemessene Methanausbeuten (NI CH<sub>4</sub>/kg oTS) in der Silage (2011–2013)**

Fruchtart	Sorte	Jahr	Gülzow	Popp.	G.felde	Drößig	Welzow	Bernb.	Gadeg.	Trossin	Friemar	Dornb.	Straub.
Mais	Atletico	2011	347	n. b.	n. b.	344	n. b.	n. b.	n. b.	316	n. b.	n. b.	340
		2012	344	368	n. b.	n. b.	339	347	353	334	339	365	349
	LG 3216	2011	334	339	n. b.	353	n. b.	n. b.	n. b.	342	n. b.	n. b.	348
		2012	345	362	n. b.	n. b.	347	330	345	325	355	375	348
Sudangrash.	Lussi	2011	305	n. b.	n. b.	294	n. b.	n. b.	263	283	n. b.	317	314
		2012	315	307	n. b.	n. b.	319	293	306	298	301	296	285
	KWS Freya	2011	301	n. b.	n. b.	283	n. b.	n. b.	n. b.	285	n. b.	317	n. b.
		2012	326	259	n. b.	n. b.	n. b.	294	299	278	304	n. b.	264
	KWS Sole	2012	326	327	n. b.	n. b.	304	290	n. b.	309	n. b.	n. b.	312
Körnerh.	Farmsugro	2012	326	298	n. b.	n. b.	330	299	n. b.	318	n. b.	327	318
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	311	n. b.	296	293	319	286	n. b.	285	n. b.	280	314
		2012	307	253	n. b.	n. b.	297	269	n.b.	298	n. b.	284	268
	Herkules	2011	319	n. b.	290	293	307	239	n. b.	302	n. b.	308	313
		2012	310	324	n. b.	n. b.	323	291	335	313	333	333	311
	KWS Zerberus	2011	323	n. b.	272	286	294	268	n. b.	300	n. b.	320	299
		2012	312	279	n. b.	n. b.	311	261	n. b.	316	n. b.	327	316
	Amiggo	2011	303	n. b.	n. b.	283	308	275	n. b.	293	n. b.	258	267
		2012	293	255	n. b.	n. b.	290	278	n. b.	257	n. b.	191	314
	KWS Odin	2011	273	n. b.	296	296	316	263	n. b.	293	n. b.	276	296
	Biomasse 150	2011	260	n. b.	282	303	314	246	n. b.	262	n. b.	272	302
KWS Tarzan	2012	333	320	n. b.	n. b.	309	293	317	321	317	311	311	

Methode: Hohenheimer Biogasertragstest, n. b. = nicht bestimmt

Mais wies mit durchschnittlich 346 NI/kg oTS (Stabw = 13 NI/kg oTS) erwartungsgemäß signifikante Vorteile in der Methanausbeute im Vergleich zu Sorghum auf (Tabelle 15). Die Sudangrashybriden (303 NI/kg oTS) und Futterhirsen (309 NI/kg oTS) blieben im Mittel 12 bzw. 11 % unter der Methanausbeute des Maises, wobei die Werte bei der Futterhirse, bedingt durch den höheren Stichprobenumfang, vergleichsweise stärker streuten (16 NI/kg oTS im Vergleich zu 13 NI kg oTS). Vergleichbare Relationen in der Methanausbeute zwischen Mais und Sorghum wurden auch von HERRMANN et al. (2012) in Batchversuchen mit 1,5-l-Fermentern festgestellt.

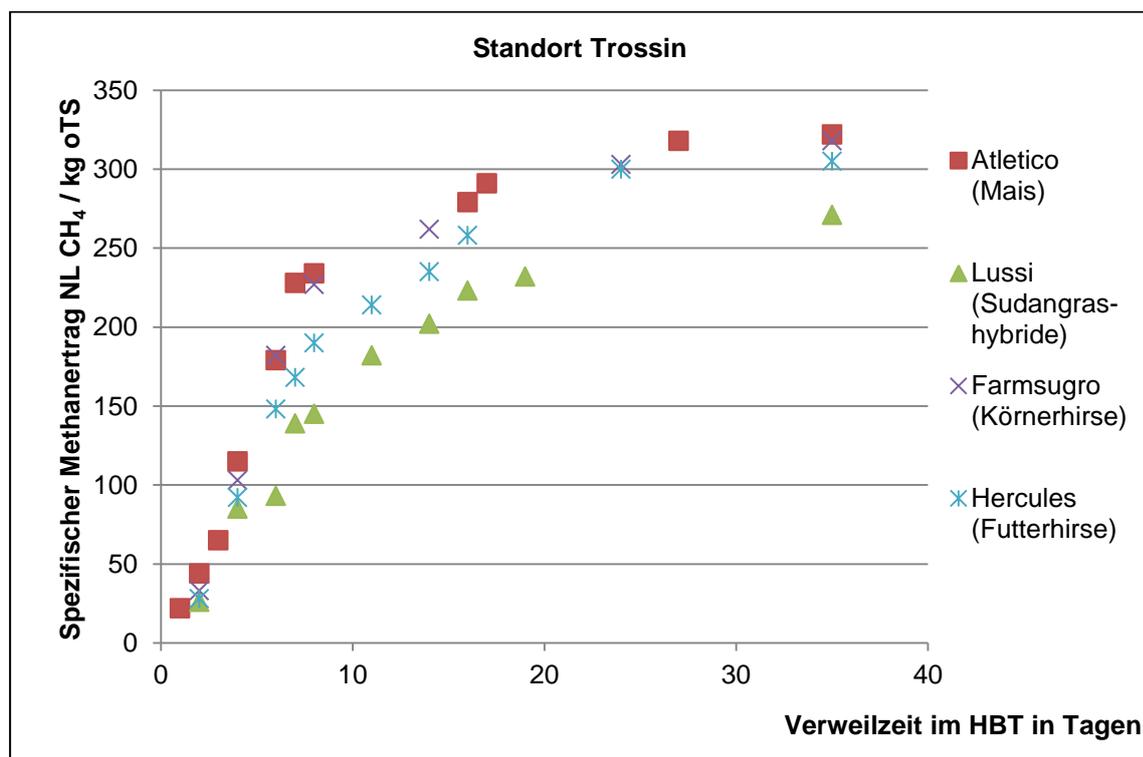
Vergleicht man die gemessenen Methanausbeuten bei den Silagen (Tabelle 14) mit den gemessenen Methanausbeuten des Häckselgutes (Tabelle 13) – beide Beprobungsverfahren erfolgten mit gleicher Trocknungstemperatur der Proben – fällt auf, dass bei der Beprobung der Silagen ein leichter Vorteil gegenüber dem Häckselgut festzustellen ist. HERRMANN (2010) schreibt dazu: „ ... Da bei der Silierung vorwiegend Substanzen mit niedrigerer Methanausbeute verloren gehen und Gärprodukte mit hoher spezifischer Methanausbeute gebildet werden, weisen Silagen häufig höhere Methanausbeuten bezogen auf die der Biomethanisierung zugeführten oTM auf. Werden die während des Silierprozesses entstehenden Fermentationsverluste in der Methanausbeute berücksichtigt, ist jedoch keine signifikante Änderung der Methanausbeute durch die Silierung gegeben. ...“ Fermentationsverluste innerhalb des Silierungsprozesses wurden aber in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

**Tabelle 15: Auswertung der gemessenen Methanausbeuten (HBT) in der Silage (Sortenversuch, Versuchsjahre 2011–2012)**

Fruchtart	n	Methanausbeute [NL/kg oTS]			
		Min	Max	MW[%]	Stabw
Mais	26	316	375	346/100	13
Sudangrashybride	13	283	323	303/88	13
Futterhirse	37	267	335	309/89	16
Körnerhirse	2	325	338	332/95	

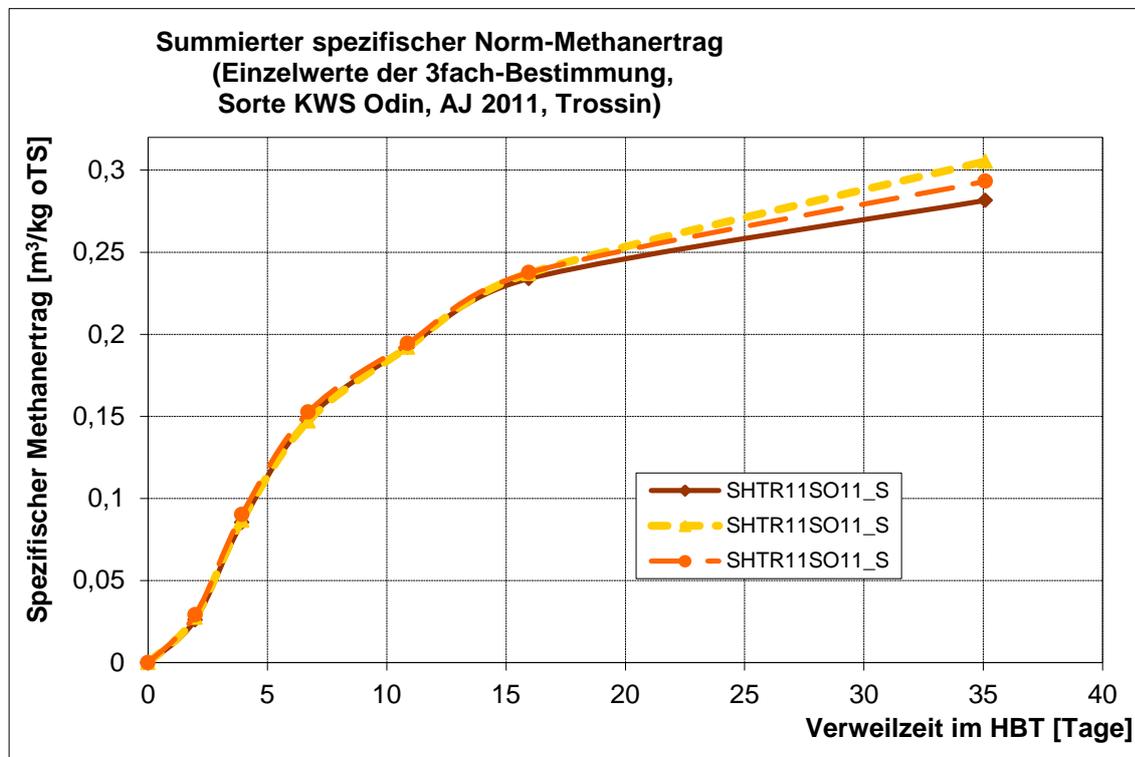
### 3.6 Auswertung der gemessenen Methanausbeuten

Abbildung 12 zeigt am Beispiel des Standorts Trossin, wie sich die Methanbildungsrate innerhalb der Versuchszeit bei den unterschiedlichen Arten bzw. Unterarten an Hand je einer Sorte entwickelt. Mais und Körnerhirse haben eine etwas steilere Methananstiegskurve, die sich aus der höheren Menge an leicht verdaulichen Substanzen ergibt. Am Methanertrag zum Ende der Versuchszeit ist ebenfalls erkennbar, dass Mais, gefolgt von Körnerhirse, den höchsten Methanertrag besitzt. Die Sudangrashybride besitzt in der Tendenz das geringste Methanbildungspotenzial. Etwa ab dem 25. Verweiltag sind kaum noch Methanertragszuwächse fest zu stellen.



**Abbildung 12: Spezifische Methanerträge, Trossin**

Bei einer optimalen Vergärung der Probe mit dem HBT sollten die Messwerte der einzelnen Kolbenprober (drei Wiederholungen) gut übereinanderliegen. In Abbildung 13 ist das für den Standort Trossin und die Futterhirsesorte Odin dargestellt. Es wurde weiterhin festgestellt, dass eine Verweilzeit von 35 Tagen im Hohenheimer Biogasertragstest ausreichend ist, damit sich die gut abbaubare Substanz umsetzen kann. Das sich darüber hinaus (vor allem in Praxisanlagen) bildende Restbiogasvolumen kann vernachlässigt werden. Der Hauptanteil des Biogases wird in den ersten 15 Tagen gebildet.



**Abbildung 13: Summierter spezifischer Norm-Methanertrag**

Bei den untersuchten Silagen sind ein Drittel mehr Proben im HBT geprüft worden. Der Stichprobenumfang ist demzufolge höher. Aus diesem Grunde werden die weiteren statistischen Auswertungen im Folgenden an Hand der untersuchten Silagen vorgenommen.

Wie in Abbildung 14 bis Abbildung 17 zu erkennen ist, ist die Streuung der Methangaserträge der unterschiedlichen Arten und Sorten je nach Standort zum Teil gering, zum Teil aber auch sehr hoch.

Die Streuung bei den Futterhirsesorten scheint besonders ausgeprägt. Weil bei der Körnerhirse nur das Jahr 2012 getestet wurde, liegt nur ein Mittelwert pro Standort vor.

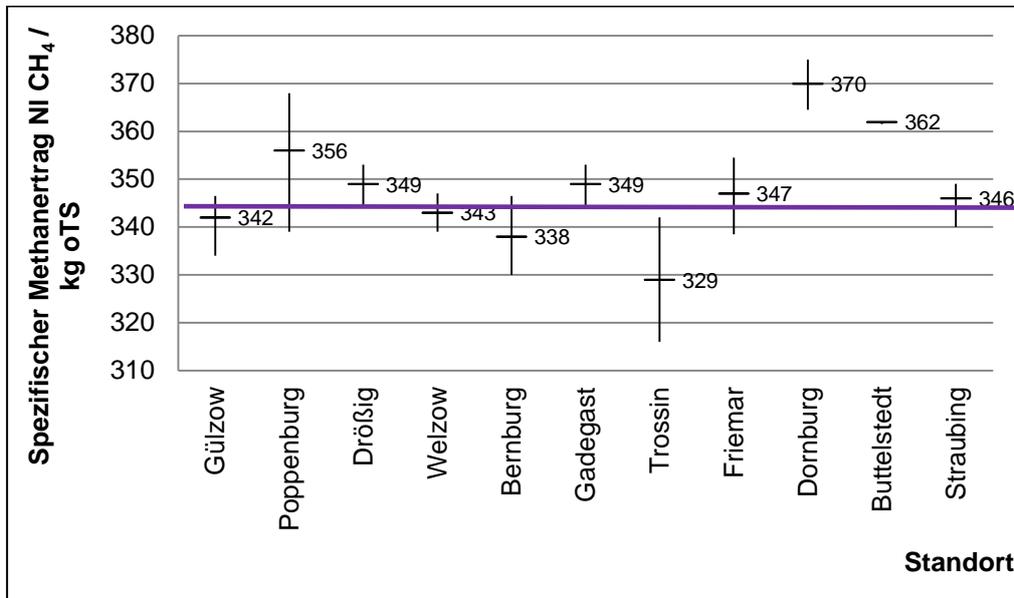


Abbildung 14: Streuung der spezifischen Methanerträge für Maissilage

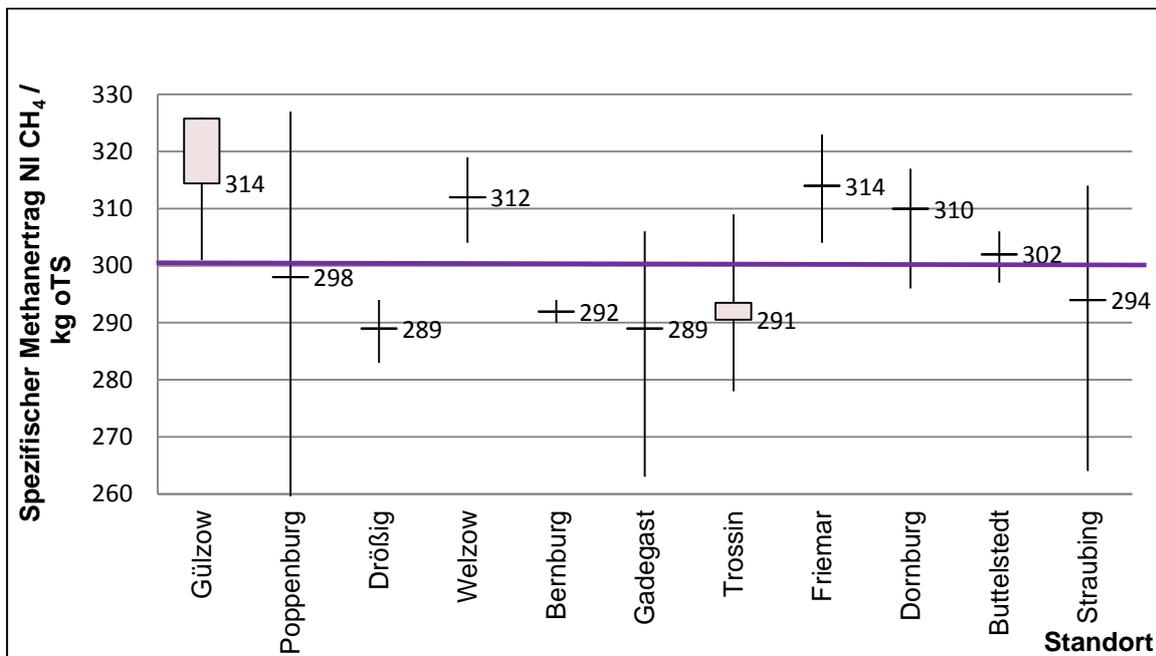


Abbildung 15: Streuung der spezifischen Methanerträge für Sudangrashybridsilage

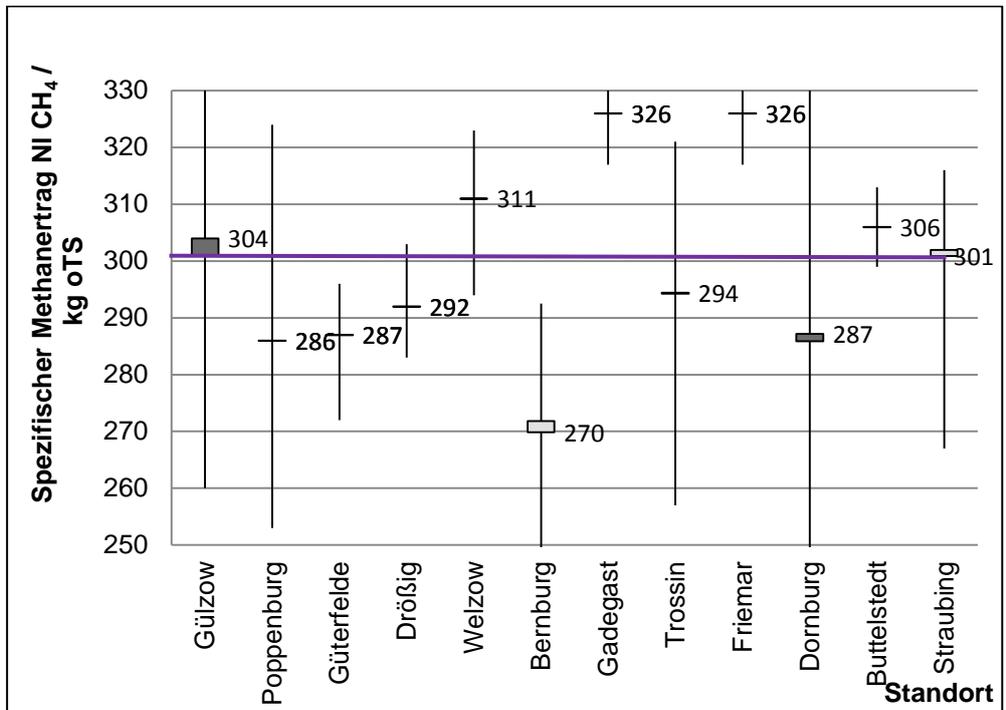


Abbildung 16: Streuung der spezifischen Methanerträge für Futterhirsesilage

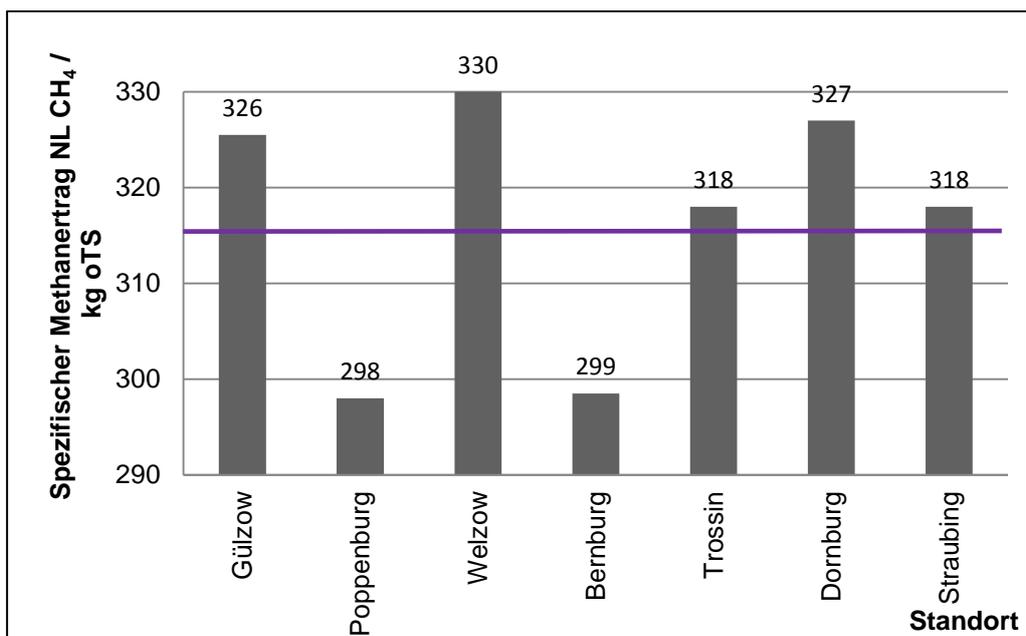


Abbildung 17: Spezifischer Methanertrag für Körnerhirsesilage (2012)

Die weitere statistische Auswertung erfolgte mittels Varianzanalyse. Um diese durchführen zu können, müssen die in den verschiedenen Biogasansätzen ermittelten Ergebnisse vergleichbar gemacht werden.

Mit der Varianzanalyse soll untersucht werden, ob es eine Beziehung zwischen

- den Arten und Sorten,
- den einzelnen Standorten,

■ den Jahren (Witterung) und

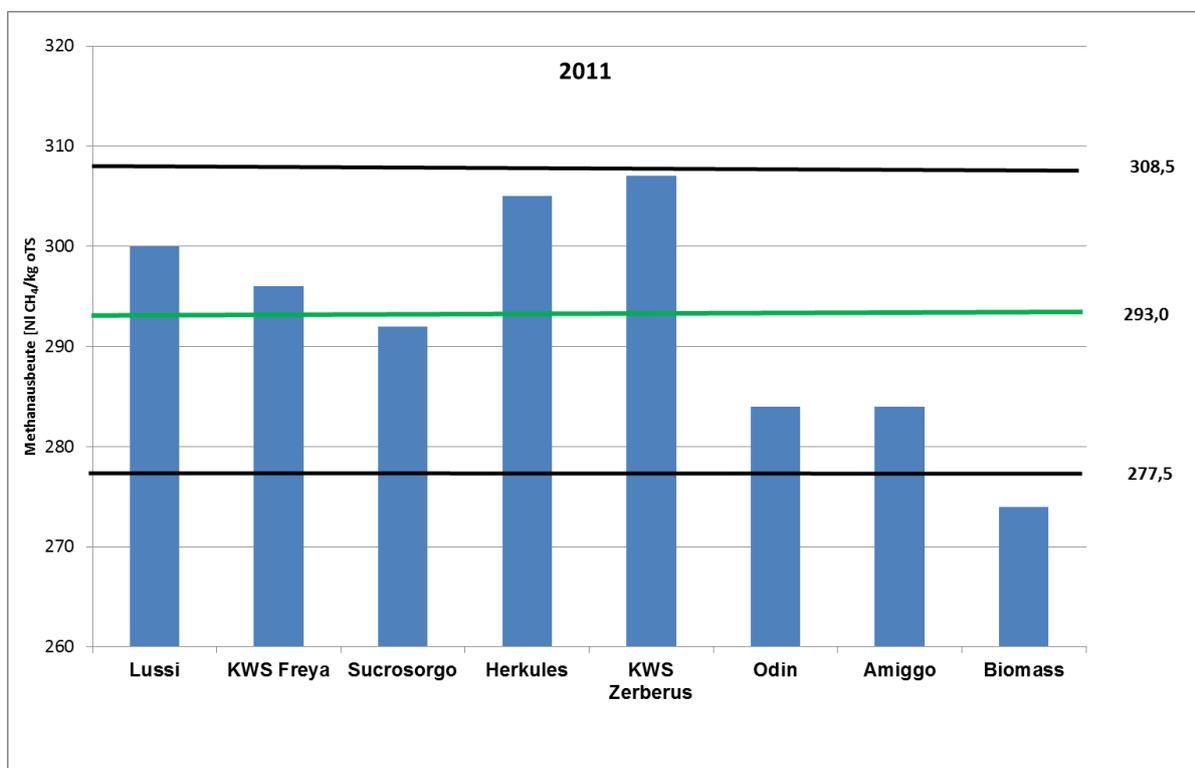
■ dem Methanertrag

gibt.

An Hand der bisherigen Ausführungen konnte bereits nachgewiesen werden, dass die Pflanzenart **Mais** einen signifikanten höheren Methanertrag von 10 bis 12 % gegenüber den Sorghumsorten aufweist. Der höhere Methanertrag ergibt sich dabei aus dem höheren Gehalt an leicht verdaulichen Inhaltsstoffen.

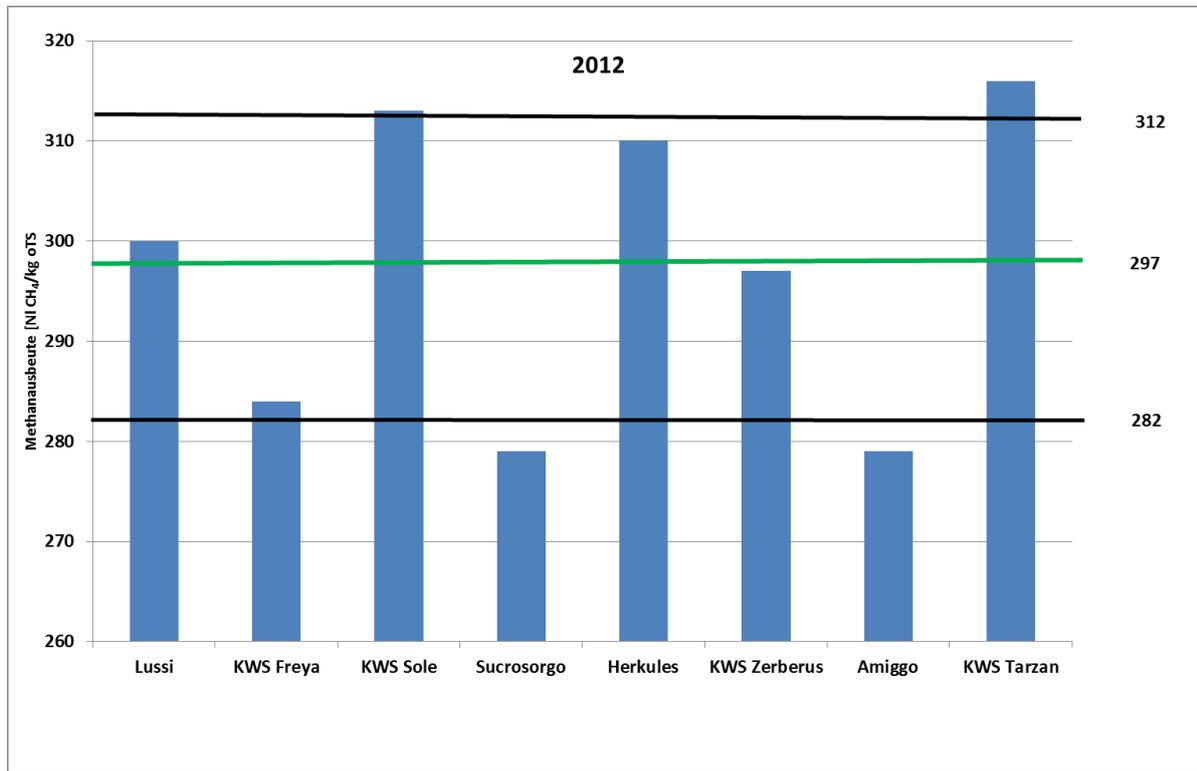
Inwieweit die Sorghum bicolor-Sorte Farmsucro (**Körnerhirse**) durch ihren Stärkegehalt eine Zwischenstellung zwischen Mais und den restlichen Sorghumsorten einnimmt, konnte auf Grund einer zu geringen Datenbasis noch nicht abschließend geklärt werden. Diese ist aber auf Grund der ersten gemessenen Werte zu erwarten.

Die statistische Auswertung zur Frage der Sortenunterschiede wird deshalb ohne Mais und ohne Körnerhirse durchgeführt.



**Abbildung 18: Methanertrag in Abhängigkeit von der Sorghumsorte im Jahr 2011**

In Abbildung 18 sind die Methanausbeuten der Sudangrashybride Lussi und KWS Freya sowie von sechs Sorten der Art Sorghum bicolor dargestellt. Im Mittel aller Sorten wurde eine Methanausbeute von 293 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS ermittelt. Die Grenzdifferenz im paarweisen Vergleich beträgt 23,5. Die Grenzdifferenz im Vergleich der Mittelwerte beträgt 15,5 (siehe schwarze obere und untere Linie). Außerhalb der oberen und unteren Differenz liegt nur eine Sorte (Biomass), die aber nicht als signifikant vom Programm angezeigt wird. Das heißt, dass sich 2011 die Sorten, angebaut an vier verschiedenen Standorten, nicht signifikant unterscheiden. Die Sorten Herkules und KWS Zerberus weisen die höchsten Methanausbeuten auf.

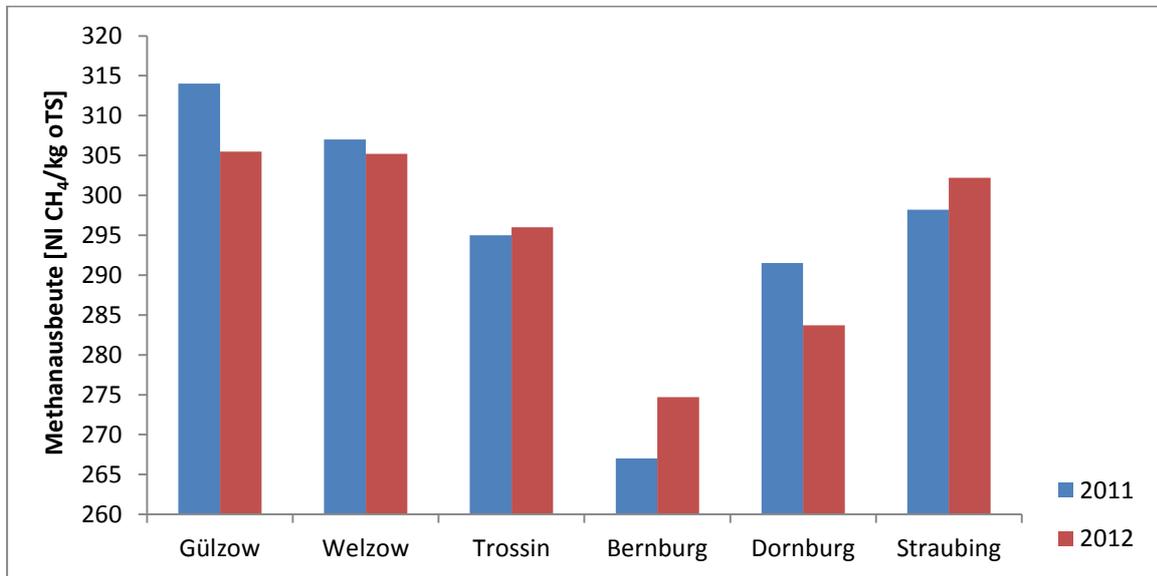


**Abbildung 19: Methanertrag in Abhängigkeit von der Sorghumsorte im Jahr 2012**

Anders als Jahr 2011 verhält sich das Jahr 2012. Die Varianzanalyse weist für 2012 einen signifikanten Unterschied zwischen den Sorten von Sorghum aus (Abbildung 19). Für das Jahr 2012 wurden fünf Standorte in die Berechnung einbezogen. Der Mittelwert liegt ähnlich wie im Jahr 2011 bei 297 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Die Grenzdifferenz im paarweisen Vergleich beträgt 22,5. Die Grenzdifferenz im Vergleich der Mittelwerte beträgt 15. In der grafischen Darstellung wird ersichtlich, dass die Sorten Sugrosorgo und Amiggo deutlich unter dem Mittelwert und die Sorte KWS Tarzan deutlich über dem Mittelwert liegt. Sorten mit sehr hoher Methanausbeute im Jahr 2012 sind außerdem KWS Sole und Herkules.

Die Sudangrasyhybride Lussi stellt sich in beiden Jahren als sehr stabile Sorte in der Methanausbeute dar. Die Ausbeuten liegen leicht über dem Mittelwert.

Weil die einzelnen Sorten in beiden Jahren unterschiedlich reagiert haben, konnten signifikante Unterschiede bei der Methangasausbeute nicht einwandfrei festgestellt werden.



**Abbildung 20: Methanertrag in Abhängigkeit vom Standort in den Jahren 2011 und 2012**

Bei der Prüfung, ob der Standort einen Einfluss auf die Methanerausbeute hat, ergab sich in der Varianzanalyse tatsächlich ein Zusammenhang (Abbildung 20). Die Methanerausbeute im Durchschnitt der Standorte beträgt 295 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Die Grenzdifferenz liegt bei 23,5. Die Standorte Bernburg und Dornburg fallen mit niedrigen Methangaserträgen auf. Auf den Standorten Gülzow und Welzow wurden die besten Methangaserträge erreicht. Die Standorte Gülzow und Trossin sind D-Standorte, der Standort Welzow ist den Kippenstandorten zuzuordnen. Die Methangaserträge dieser drei Standorte liegen tendenziell über den Methangaserträgen der Standorte Bernburg, Dornburg und Straubing, die gute Lössstandorte sind.

Die Varianzanalyse ergab keine Signifikanz zwischen den Jahren 2011 und 2012.

### 3.7 Vergleich der Methoden zur Bestimmung des Biogasbildungspotenzials

Der Vergleich zwischen der berechneten Methode nach WEISSBACH und der tatsächlichen Messung ergab deutliche Unterschiede. Um diese zu bestätigen, wurden auch Batch-Versuche des ATB Potsdam mit in den Vergleich einbezogen. Tabelle 16 zeigt die Werte der beiden Methoden.

**Tabelle 16: Vergleich der gemessenen und berechneten Methanausbeuten**

Fruchtart	Methanausbeute [NI/kg oTS]					
	Berechnung nach WEISSBACH			Messung HBT Silage		
	n	NI/kg oTS	%	n	NI/kg oTS	%
Mais	16	330	100	26	346	100
Sudangrashybride	20	261	79	13	303	88
Futterhirse	46	273	83	37	309	89
Körnerhirse	4	298	90	2	332	95

Wie Tabelle 16 zeigt, wird die Methangasausbeute bei der Berechnung nach WEISSBACH für die Sudangrashybride und für die Futterhirse deutlich geringer bewertet als bei der konkreten Messung im HBT. Die beiden Methoden zur Messung der Methanausbeute mittels HBT und mittels Batch-Versuch durch das ATB unterscheiden sich in der Relation jedoch nicht. Die Messungen im ATB Potsdam ergaben ebenfalls eine Methangasausbeute von 88 % des Maises (HERRMANN 2012).

Auch beim Mais ist die Berechnung der Methangasausbeute um 5 % niedriger als bei den Messungen im HBT. In der landwirtschaftlichen Praxis wurde ebenfalls oft beobachtet, dass die Biogas- und Methangaserträge höher sind als in der Planung angenommen. Durch die höheren Cellulose- und Ligningehalte (siehe Kapitel 3.1) bei den Sudangrashybriden und den Futterhirsen ist die Methangasausbeute gegenüber Mais um 11 bis 12 % geringer. Die Körnerhirse, die als einzige Sorghumpflanze Stärke besitzt, liegt in ihrer Methangasausbeute zwischen Mais und den anderen Sorghumsorten. Der Abstand bei der Methanausbeute der Körnerhirse gegenüber Mais beträgt nur 5 %. Die Sorghumarten werden durch die Berechnung nach WEISSBACH um weitere 5 bis 9 % unterschätzt.

Für die Betreiber von Biogasanlagen ist es demzufolge wichtig, bei der Planung auf gemessene Werte zurückzugreifen.

## 3.8 Sortenversuch: Zwischenschnitt

In den Anbaujahren 2012 und 2013 wurde an den Versuchsstandorten Trossin und Straubing ein sogenannter Zwischenschnitt mit den Sorghumsorten Lussi, KWS Freya, Hercules und KWS Zerberus im Abstand von je 14 Tagen bis zum endgültigen Erntetermin der Sortenversuchsanlage entnommen.

Zur Beschreibung des Entwicklungsverlaufs der Sorten sind in Abbildung 21 und Abbildung 24 das BBCH-Stadium und der TS-Gehalt der Pflanzen zu den unterschiedlichen Ernteterminen für beide Standorte und Versuchsjahre dargestellt. Abbildung 22 und Abbildung 25 geben Auskunft über den Ligningehalt mit fortschreitender Vegetationsdauer. Die Entwicklung der Methanausbeuten (gemessen, nur die Sorten Lussi und Zerberus) ist in Abbildung 23 und Abbildung 26 dargestellt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass es sich beim letzten Erntetermin stets um den Gesamterntetermin handelt. Für die Zwischenernteuntersuchung wurden einzelne, für die Parzelle repräsentative Pflanzen aus dem Randbereich der Wiederholungsparzellen entnommen. Die Probenahme zum Enderntetermin erfolgte aus der gesamten Ernteparzelle (Mischprobe der vier Wiederholungen), weshalb vermutlich von einer höheren Repräsentativität der Probe auszugehen ist. Zu bedenken ist diesbezüglich auch, dass sich die Bestände mitunter sehr heterogen darstellten, was bei der Entnahme einzelner Pflanzen aus dem Bestand weniger stark ins Gewicht fällt. Stärkere Abweichungen in den Ergebnissen zwischen vorletztem und letztem Erntetermin können daher zum Teil auch probenahmebedingt zu erklären sein, dies gilt vor allem für die TS-Gehalte.

Sowohl in Trossin als auch in Straubing waren in den jeweiligen Versuchsjahren die Unterschiede im Abreifeverhalten der Sorghumarten und -sorten deutlich anhand der BBCH-Stadien und TS-Gehalte zu den einzelnen Zwischenernteterminen nachzuvollziehen. Die Sudangrashybride Lussi erwies sich hierbei als früheifste Sorte, die Futterhirse Hercules als spätreifste Sorte. Im Folgenden soll auf die Ergebnisse der einzelnen Standorte eingegangen werden.

### Trossin

Im **Jahr 2012** hatten die frühreifen Sudangrashybriden (Lussi, Freya) den Ziel-TS-Gehalt von 28 % aufgrund anhaltender Sommertrockenheit in Verbindung mit hohen Temperaturen und starker Sonneneinstrahlung bereits Mitte August deutlich übertroffen (> 34 % TS). Nach Einsetzen der Niederschläge waren die TS-Gehalte zwischenzeitlich kurz rückläufig, was durch Absterben alter Blätter und Bildung neuer Triebe zu erklären war. Die Ernte erfolgte zu Beginn der Kornreife (BBCH 81) in der ersten Septemberdekade bei TS-Gehalten zwischen 30 % (Freya) und 36 % (Lussi) (Abbildung 21).

Die spätreifen Futterhirsen (Herkules und Zerberus) reagierten auf die anhaltende Trockenheit im Juli und August nach einer vergleichsweise kühlen Periode Mitte bis Ende Juni mit weiterer Stagnation im Längenwachstum. Der Übergang in die generative Phase und die weitere Trockensubstanzbildung verliefen sehr langsam. Zur Ernte hatten die Futterhirsen unmittelbar das Rispenziehen beendet. Die TS-Gehalte lagen zu diesem Zeitpunkt bei KWS Zerberus bei 28 % und Hercules bei 23 %.

Die Ligningehalte der Sorten wurden im Wesentlichen vom Abreifeverhalten der Sorten bestimmt und nahmen in absteigender Reihenfolge von der früheifsten Sorte Lussi bis zur spätreifsten Sorte Hercules ab. Bei den Sudangrashybriden war infolge der trockenen und heißen Witterung ein sprunghafter Anstieg der Ligningehalte von 4,5 bzw. 5,5 % i. d. TS (Mitte August) auf bis zu 7 bzw. 9 % i. d. TS zur Ernte zu verzeichnen. Der Anstieg der Ligningehalte fiel bei den spätreifen Futterhirsen hingegen sehr moderat aus. Die Sudangrashybriden neigen aufgrund ihrer deutlich früheren Abreife offensichtlich verstärkt zur Lignineinlagerung, die in diesem Jahr durch die Witterung zusätzlich noch begünstigt wurde.

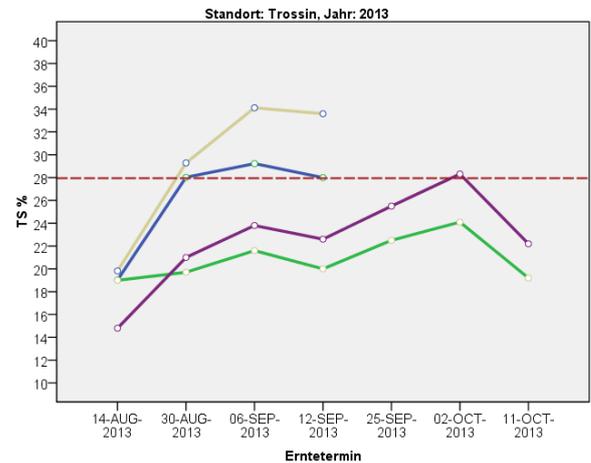
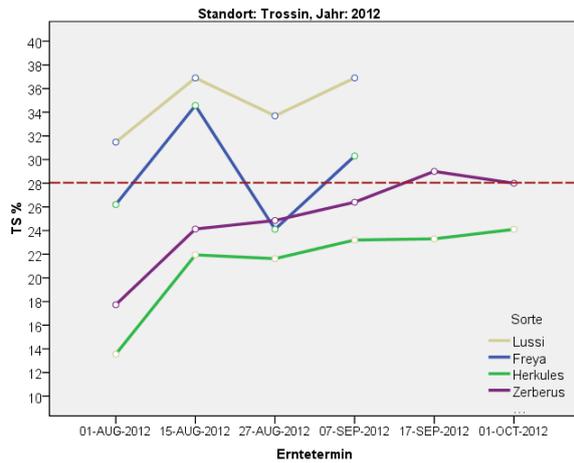
Die Sudangrashybride Lussi zeigte am Standort Trossin im Laufe des zweijährigen Untersuchungszeitraums an allen Zwischenernteterminen Nachteile in der Methanausbeute im Vergleich zur Futterhirsesorte Zerberus. Bei der Sudangrashybride Lussi ist ein deutlicher Rückgang der Methanausbeute mit fortschreitender Entwicklung zu verzeichnen, der vermutlich in Zusammenhang mit der starken Abreife der Pflanzen zur Ernte (38 % TS, BBCH 81) steht. Bei der Futterhirse KWS Zerberus konnte ebenfalls eine Abnahme der Methanausbeuten mit zunehmender Vegetationszeit festgestellt werden, die sich jedoch im Jahr 2012 deutlich moderater darstellte.

Im **Jahr 2013** stagnierten Wachstum und Entwicklung von Sorghum zunächst bedingt durch die hohe Wassersättigung des Bodens infolge ausgiebiger Niederschläge Ende Mai/Anfang Juni und durch die vergleichsweise kühlen Temperaturen in der Auflaufphase. Bei sehr warmen Temperaturen im Juli und August ging die Entwicklung vor allem bei den frühreifen Sudangrashybriden sichtbar voran. Gegen Ende August, mit Ende der Blüte, hatten beide Sorten den Ziel-TS-Gehalt erreicht. Die Ernte erfolgte Ende der ersten Septemberhälfte (Mitte/Ende Blüte) bei TS-Gehalten von 28 % (Freya) bzw. 34 % (Lussi).

Die Futterhirsen entwickelten sich aufgrund der zunehmenden Trockenheit im Juli recht langsam. Der Übergang in die generative Phase verlief ähnlich zögerlich wie im Vorjahr. Der September in Trossin zeigte sich vergleichsweise kühl. Zerberus hatte zur Ernte in der ersten Oktoberhälfte gerade die Rispe geschoben, bei Herkules war dies noch nicht der Fall. Mehrtägig kühle Nachttemperaturen Anfang Oktober (nahe dem Gefrierpunkt) führten zu deutlichen Kälteschäden an den Pflanzen, weshalb der Bestand zeitnah geerntet werden musste. Die TS-Gehalte zur Ernte waren vergleichsweise gering, zum Teil bedingt durch die feuchten Bedingungen. Die Ligningehalte stellten sich gegenüber dem Jahr 2012 deutlich niedriger dar.

Die Relationen der Sorghumsorten zueinander blieben sowohl bei der Methanausbeute als auch beim Lignin weitgehend erhalten.

Beide Sorghumsorten, insbesondere die Sudangrashybriden, wiesen im Vergleich zum Vorjahr sichtbar höhere Methanausbeuten auf (Abbildung 23).



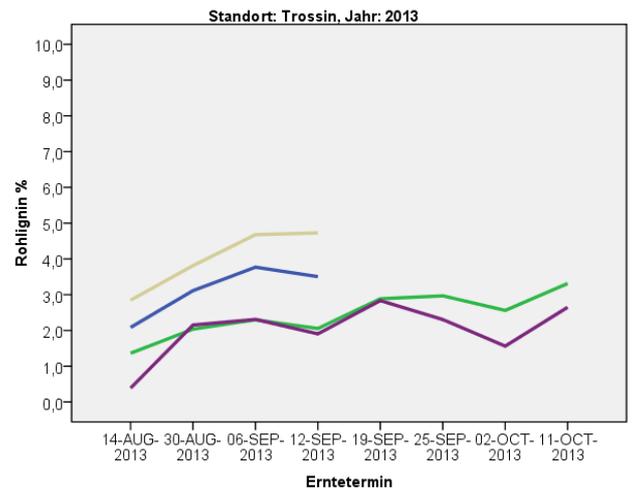
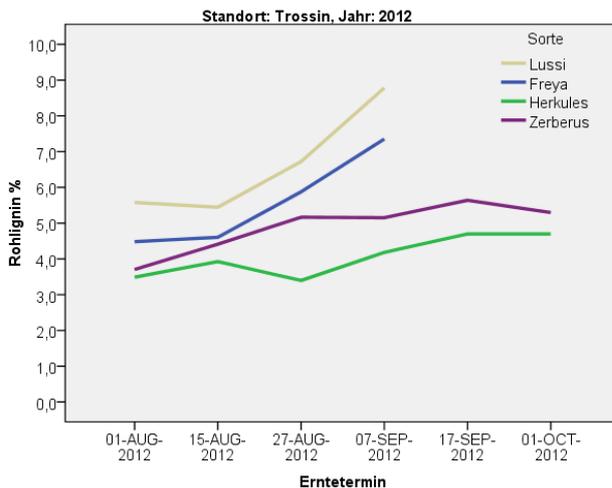
**BBCH**

Lu:	55	61	73	81		
Fr:	51	55	71	81		
He:	35	37	37	49	55	59
Ze:	35	37	39	55	59	61

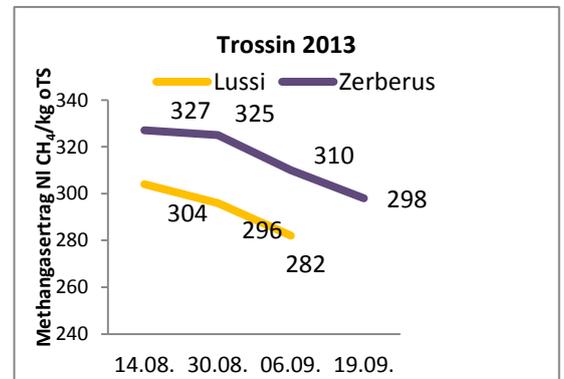
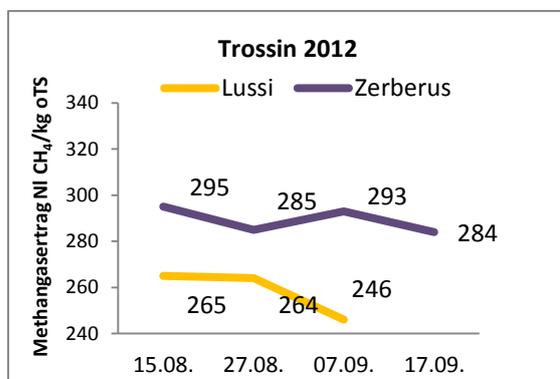
**BBCH**

Lu:	59	65	65	69			
Fr:	55	61	61	65			
He:	34	34	34	39	39	45	45
Ze:	34	39	39	45	51	55	55

**Abbildung 21: BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin**



**Abbildung 22: Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Trossin in Abhängigkeit vom Erntetermin**



**Abbildung 23: Methanausbeuten der Sorghumsorten Lussi und Zerberus in Abhängigkeit vom Erntetermin am Standort Trossin**

## Straubing

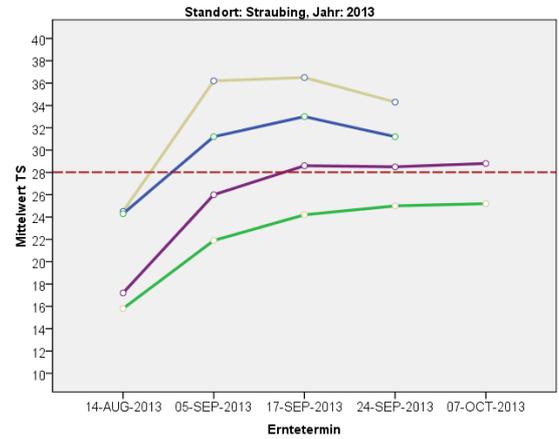
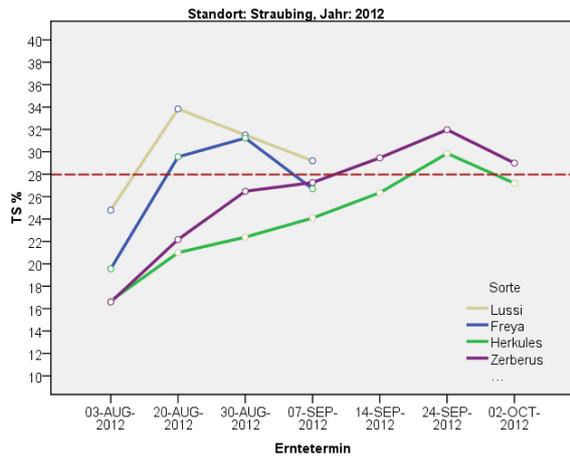
Der Standort Straubing ist im Vergleich zu Trossin durch eine sicherere Wasserversorgung gekennzeichnet, die einerseits aus einer höheren Niederschlagssumme und andererseits aus einer besseren Wasserhaltekapazität des Bodens (Löss) resultiert. Das Wärmeangebot am Standort ist in der Regel für den Anbau von Sorghum ausreichend. Die beiden Versuchsjahre (2012, 2013) waren durch einen sehr unterschiedlichen Witterungsverlauf gekennzeichnet.

Die Witterungsbedingungen im **Jahr 2012** gestalteten sich nahezu optimal für Sorghum, sodass sich die Bestände sehr gut und beständig entwickeln konnten. Zum Zeitpunkt der Ernte waren sowohl die frühreifen Sudangrashybriden (BBCH 83 bzw. 79) als auch die Futterhirsen (BBCH 69 bzw. 75) gut abgereift.

Die in Trossin beobachteten Unterschiede in den Ligningehalten zwischen Sudangrashybriden und Futterhirsen konnten in geringerem Umfang und bei geringerer Differenzierung zwischen den Sorten auch in Straubing beobachtet werden. Die Ligningehalte nahmen bei allen Sorten bis zur dritten Augustdekade deutlich zu. Dieser Anstieg setzte sich bei den stärker zur Ernte abgereiften Sudangrashybriden sichtbar fort, während bei den Futterhirsen bis Ende September der Anstieg nur gering zu verzeichnen war. Ab diesem Zeitpunkt sanken die Rohligningehalte (möglicherweise witterungsbedingt) bis zum Ende der Ernte. Das spiegelte sich auch im Anstieg der Methanausbeute wider. Entscheidend für den Landwirt ist es somit, den optimalen Ertrag mit einer hohen Methanausbeute zu verbinden.

Das **Jahr 2013** war wie in Trossin durch ungünstige Anfangsbedingungen (extreme Niederschläge, kühle Temperaturen) und eine anschließende Trockenperiode im Juli geprägt, die jedoch durch die höhere nFK des Bodens abgemildert werden konnte. Dennoch wiesen die Bestände im Vergleich zum Vorjahr (erste Septemberwoche) einen sichtlichen Entwicklungsrückstand auf, der jedoch bei günstigeren Bedingungen in der Folgezeit zum Teil noch aufgeholt werden konnte. Die Ernte der frühreifen Sudangrashybriden erfolgte zwei Wochen später als im Vorjahr. Sowohl die Sudangrashybriden (32 bzw. 35 % TS) als auch die Futterhirse KWS Zerberus (28 % TS) waren zum Zeitpunkt der Ernte überwiegend gut abgereift. Die spätreife Futterhirse Hercules erzielte den Ziel-TS-Gehalt von 28 % hingegen nicht mehr (Abbildung 25).

Die Rohligningehalte lagen im Jahr 2013 bei allen Sorten deutlich unter denen des Jahres 2012. Die Unterschiede zwischen den Sorghumarten blieben bestehen. Bis Anfang September war im gesamten Sortiment ein Anstieg der Ligningehalte auf 3,5 bis 4,5 % i. d. TS zu verzeichnen. Im Gegensatz zum Vorjahr nahmen die Ligningehalte bei den Sudangrashybriden in den kommenden Wochen bis zur Ernte nur noch sehr moderat zu. Bei den Futterhirsen traten wie im Jahr zuvor keine nennenswerten Änderungen mehr auf. Bei ihnen wurde zum Enderntetermin ebenfalls ein höherer Methanertrag gegenüber der Sudangrashybride beobachtet. Dies ist wiederum auf den geringeren TS-Gehalt zur Ernte der Hirsen zurückzuführen. Beide Sorten wiesen im Gegensatz zum Vorjahr sichtbar höhere Methanausbeuten auf (Abbildung 26).



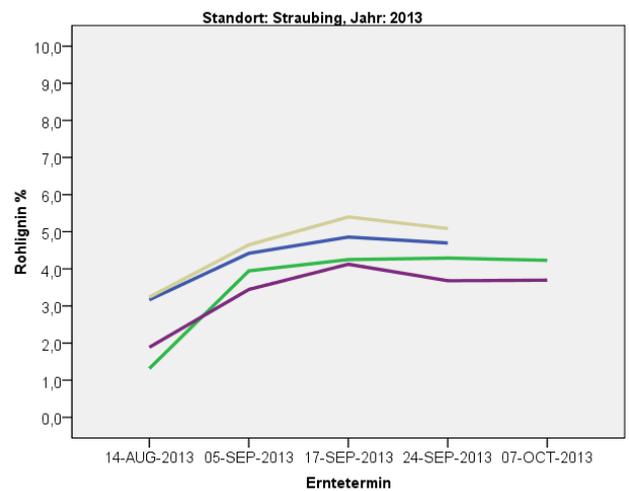
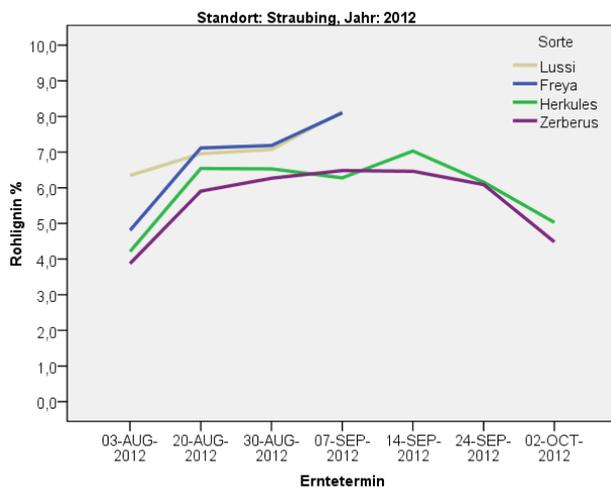
**BBCH**

Lu:	55	69	79	83			
Fr:	51	65	71	79			
He:	37	39	51	65	69	69	69
Ze:	37	45	65	75	75	75	75

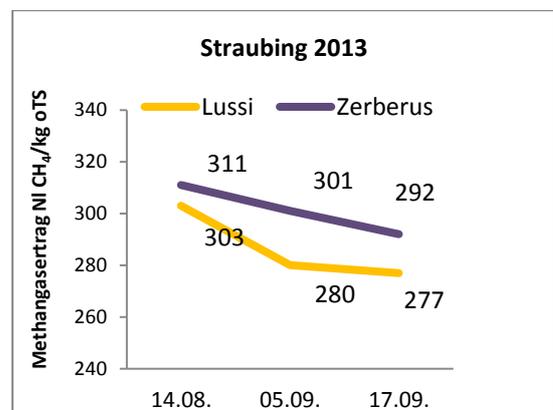
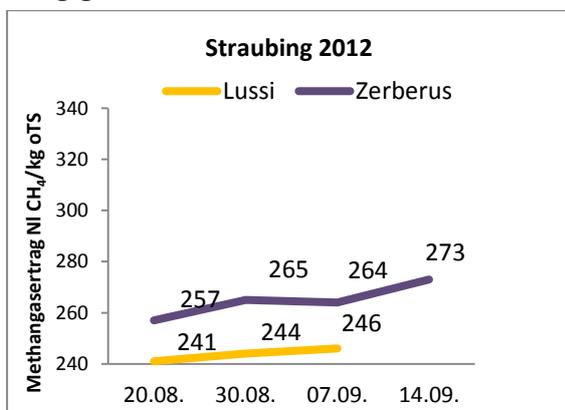
**BBCH**

Lu:	59	75	79	83		
Fr:	55	75	79	79		
He:	35	37	51	55	69	
Ze:	37	61	69	69	73	

**Abbildung 24: BBCH-Stadium und TS-Gehalt verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin**



**Abbildung 25: Rohligningehalt (% TS) verschiedener Sorghumsorten am Standort Straubing in Abhängigkeit vom Erntetermin**



**Abbildung 26: Methanausbeuten der Sorghumsorten Lussi und Zerberus in Abhängigkeit vom Erntetermin am Standort Straubing**

Mit fortschreitender Entwicklung der Pflanze (TS-Gehalt nimmt zu) bzw. BBCH-Stadium steigt neben dem ADL-Gehalt (Rohlignin) auch der Gehalt an Zucker an (siehe Tabellen im Anhang).

In der Abbildung 27 wird der Vergasungsverlauf der beiden Sorten Lussi und Zerberus gegenübergestellt. Man erkennt das geringfügig kleinere Biogasbildungspotenzial der Sorte Lussi (Sudangrashybrid) gegenüber der Sorte Zerberus (Futterhirse), was durch die höhere TS und den damit verbundenen höheren Rohlignin-gehalt begründet ist. Der Erntezeitpunkt spielt somit eine große Rolle für die optimale Methangasausbeute. Ebenfalls in der Abbildung 27 ist zu erkennen, dass die drei Wiederholungen der Beprobung im HBT fast deckungsgleich verlaufen und damit gute, vergleichbare Ergebnisse erbringen.

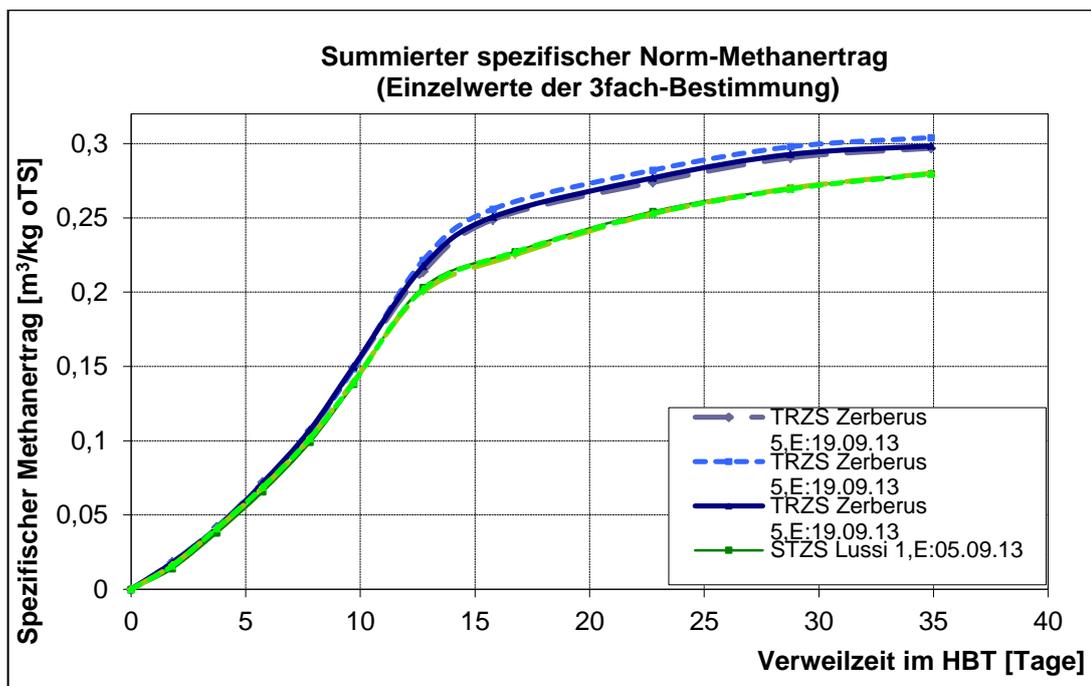
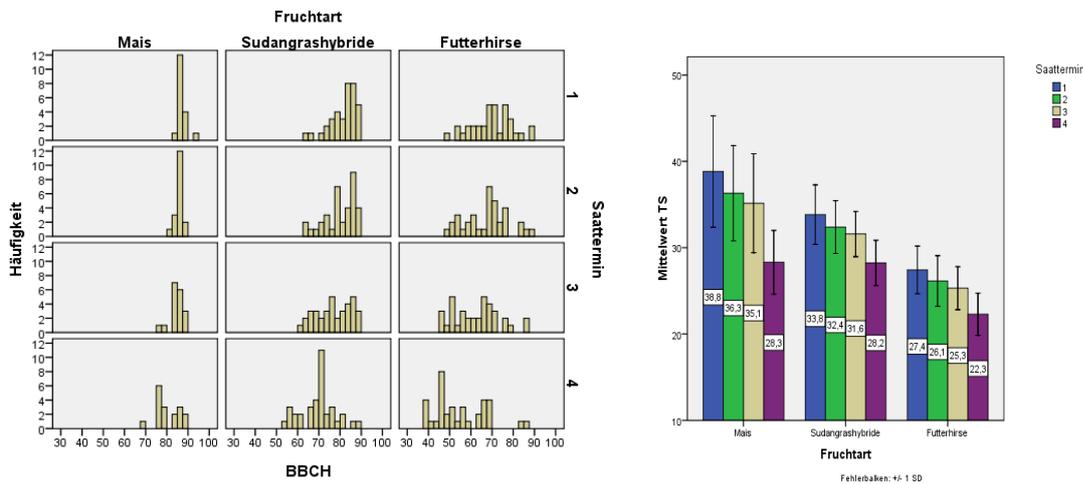


Abbildung 27: Summierter spezifischer Norm-Methanertrag

### 3.9 Saatzeitenversuch

Ebenso wie im Zwischenschnittversuch standen den Fruchtarten im Saatzeitenversuch in Abhängigkeit vom Aussaattermin eine unterschiedliche Anzahl an Vegetationstagen und somit unterschiedliche Wärme- und Niederschlagssummen für Wachstum und Entwicklung zur Verfügung. In der Folge nahmen BBCH Stadium und TS-Gehalt zur Ernte sowohl bei Mais als auch bei Sorghum mit späterem Saattermin kontinuierlich ab. Während die frühreife Maissorte Ronaldinio (S220) und die Sudangrashybriden auch bei Aussaat Mitte Juni oftmals noch die optimalen TS-Gehalte von 28 % zur Ernte erreichten, konnten die Futterhirsden die Ziel-TS-Gehalte beim letzten Saattermin in der Regel nicht mehr einhalten. Aufgrund des einheitlichen Erntetermins bei Mais und Sorghum, der sich nach der Abreife der spätreifen Futterhirsden richtete, übertrafen der Mais und die Sudangrashybriden zum ersten und zweiten Saattermin den oberen Ziel-TS-Bereich von 35 % standort- und jahresabhängig mitunter deutlich (Abbildung 28).



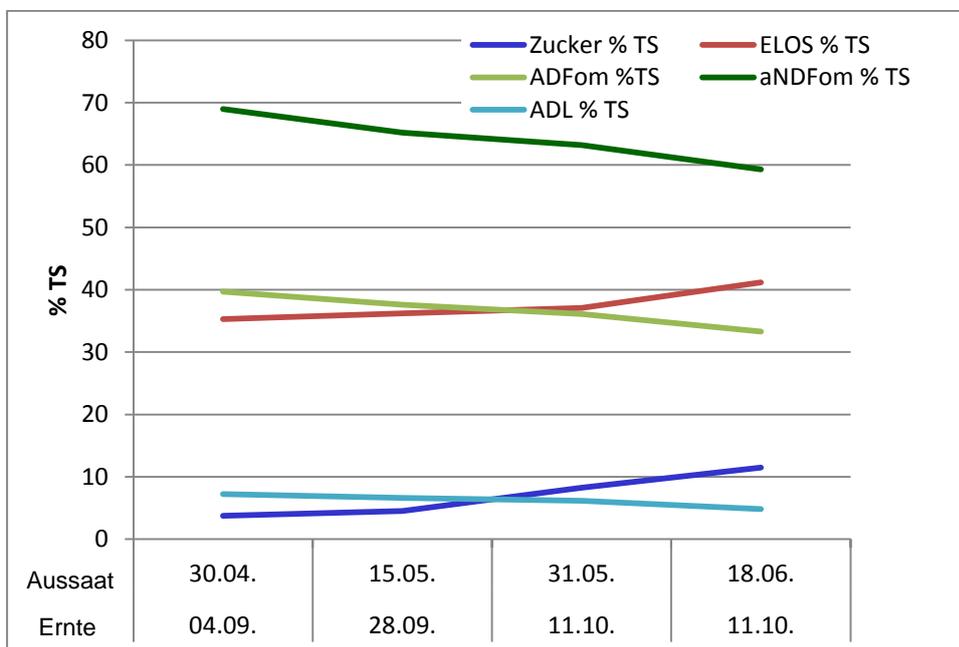
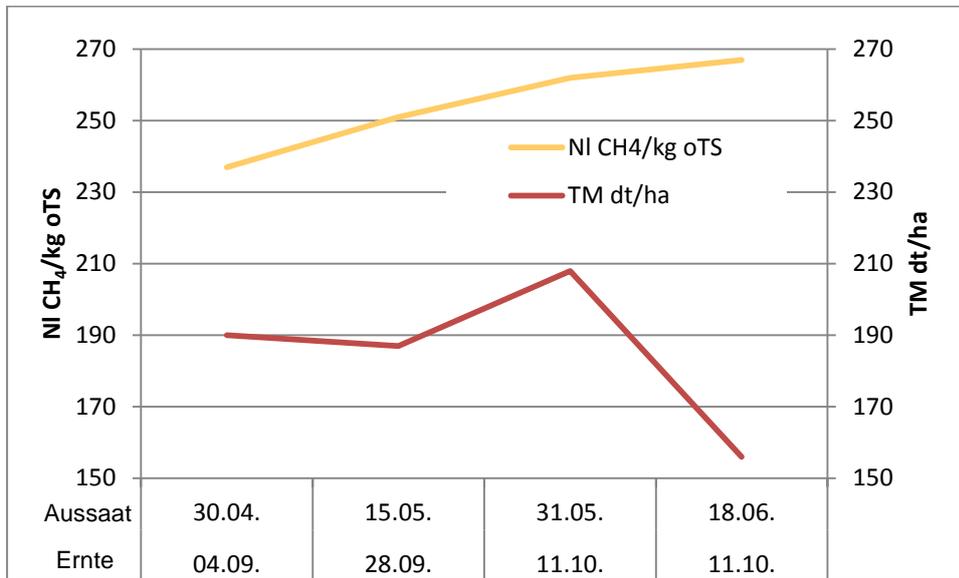
**Abbildung 28: BBCH-Stadium und TS-Gehalt von Mais und Sorghum zur Ernte in Abhängigkeit vom Saattermin (Standort- und Sortenmittel, 2011–2013)**

Bei den Sudangrashybriden und bei den Futterhirschen war ein Rückgang der Ligningehalte mit späterem Saattermin festzustellen ( $r_P = -0,542^{**}$  bzw.  $-0,332^{**}$ ). Bei Erstgenannten bestanden zudem geringe Zusammenhänge zu den Parametern  $ADF_{om}$  und ELOS. Bei Mais wirkte sich ein späterer Saattermin oftmals negativ auf den Stärkegehalt aus.

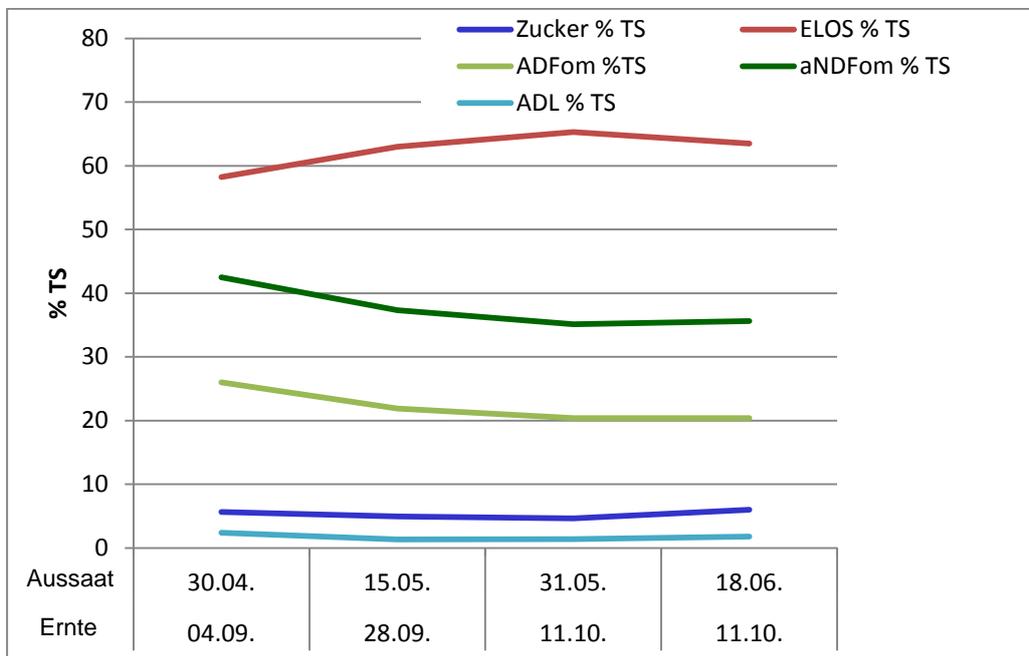
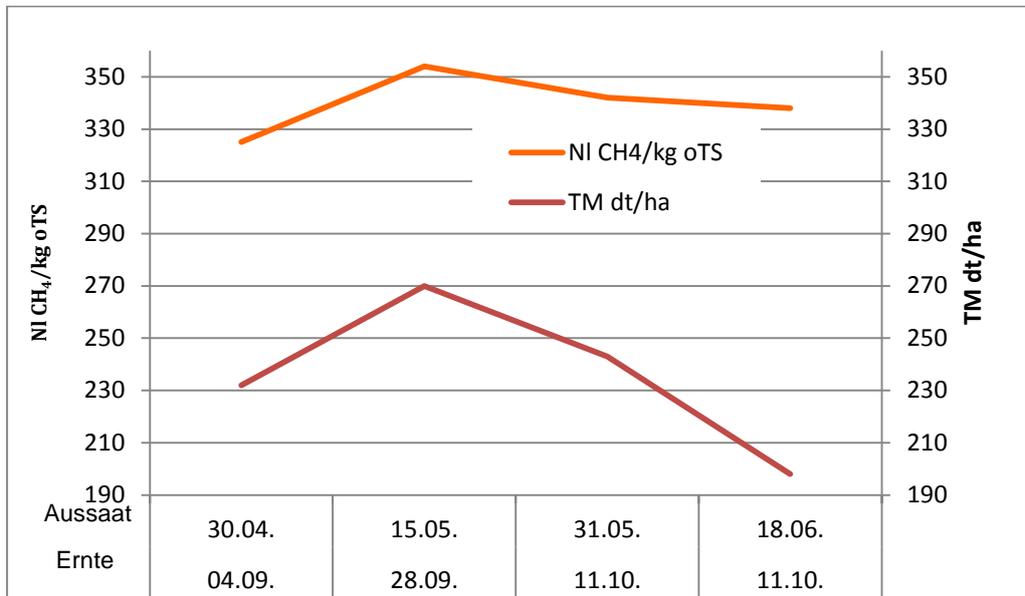
**Tabelle 17: Einfluss des Saattermins auf die Methanausbeute und Inhaltsstoffzusammensetzung**

Fruchtart			TS	BBCH	Stärke	ELOS	$ADF_{om}$	ADL
Mais	Saattermin	$r_P =$	<b>-,556<sup>**</sup></b>	<b>-,547<sup>**</sup></b>	<b>-,300<sup>*</sup></b>	-,050	-,021	,154
Sudangrashybride	Saattermin	$r_P =$	<b>-,552<sup>**</sup></b>	<b>-,498<sup>**</sup></b>	<sup>a</sup>	<b>,223<sup>**</sup></b>	<b>-,219<sup>**</sup></b>	<b>-,542<sup>**</sup></b>
Futterhirse	Saattermin	$r_P =$	<b>-,560<sup>**</sup></b>	<b>-,460<sup>**</sup></b>	<sup>a</sup>	<b>,215<sup>**</sup></b>	-,149	<b>-,332<sup>**</sup></b>

In Abbildung 29 und Abbildung 30 sind die gemessenen Methanausbeuten von Sorghum (Sorte Lussi) und Mais an den einzelnen Versuchsstandorten zu unterschiedlichen Saatterminen dargestellt. Unabhängig vom Saattermin bestätigen sich die im Sortenversuch festgestellten Relationen im Gasbildungsvermögen der Fruchtarten. Die Methanausbeute beim Mais reagierte nur geringfügig auf die unterschiedlichen Saattermine. Bei der Sudangrashybride Lussi waren stärkere Abweichungen in der Methanausbeute zwischen den Saatterminen zu verzeichnen. Mit kürzerer Vegetationszeit stiegen die Methanausbeuten auf Grund geringerer Einlagerung von Rohfaser (siehe Abbildung 29  $^a$   $NDF_{om}$ ,  $ADF_{om}$  und ADL). Bei der Sudangrashybride Lussi konnten demzufolge höhere Methanausbeuten bis zum letzten Saattermin festgestellt werden, die vermutlich durch die geringe physiologische Abreife und den damit noch geringen Rohfasergehalt, zu erklären sind.



**Abbildung 29: Beziehung zwischen Trockenmasseertrag, Methangasausbeute und den Rohnährstoffen bei der Sudangrashybridsorte Lussi (Straubing 2012)**



**Abbildung 30: Beziehung zwischen Trockenmasseertrag, Methangasausbeute und den Rohnährstoffen bei Mais (Straubing 2012)**

### 3.10 Düngungsversuch

Neben der Ertragsrelevanz der Stickstoffdüngung, sollte der Einfluss auf den Rohproteingehalt geprüft werden. Ein höherer Rohproteingehalt könnte einen Einfluss auf die Methanausbeute besitzen. Die Methanausbeute wurde an Hand der Sorte Lussi am Standort Straubing gemessen. In Tabelle 27 (Anhang) sind die Rohnährstoffe der Proben aus dem Düngungsversuch aus dem Jahr 2012 des Standorts Straubing zusammengefasst. In der Variante ohne N-Düngung ist der niedrigste Ligningehalt zu verzeichnen. In dieser ersten Düngestufe ist die Methanausbeute deutlich höher als in den Varianten mit N-Düngung.

Der Rohproteingehalt steigt mit Erhöhung der N-Gabe während des Pflanzenwachstums an. In den beiden letzten Düngungsstufen erfolgt nur noch eine geringe Zunahme des Rohproteins. Wie in Tabelle 18 ersichtlich, wurden die Rohproteingehalte mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt. Beide Methoden stimmen gut überein.

Ein Einfluss des Rohproteingehaltes auf die Methanausbeute als Folge steigender N-Gaben konnte nicht festgestellt werden. Für eine generelle Aussage wurden aber im Düngeversuch zu wenige Methanausbeuten gemessen, sodass der Versuch zu einem späteren Termin noch vervollständigt werden sollte.

**Tabelle 18: Einfluss des Rohproteingehaltes auf die Methanausbeute der Sorte Lussi am Standort Straubing 2012**

Düngestufe	Ertrag TM dt/ha	TS in %	gemessene Methanausbeute in NI CH <sub>4</sub> /kg oTS	Rohprotein in % TS <sup>1)</sup>	Rohprotein in % TS <sup>2)</sup>
0 kg N/ha	94	27	293	5,78	5,14
100 kg N/ha	-	-	262	6,93	6,82
150 kg N/ha	144	30	254	7,56	7,28
200 kg N/ha	156	29	253	8,23	8,48
250 kg N/ha	159	29	257	8,02	8,52

<sup>1)</sup> Methode Nahinfrarotspektroskopie

<sup>2)</sup> Methode Nasschemie

### 3.11 Praxisbetrieb Biogasanlage Rackwitz

Die in der Agrar- und Umwelt-AG Loberaue hergestellten drei Silagearten (Mais, Sorghum, Luzerne) waren in einem einwandfreien Zustand. Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse des Praxisbetriebes und die gemessenen Methanausbeuten im HBT und in einem weiteren Labor.

Bei spätem Zweitfruchtanbau waren die Sudangrashybriden dem Mais sowohl im Ertrag als auch bei der physiologischen Reife (siehe TS-Gehalte) überlegen (Tabelle 19). Beide Methoden der Messung der Methangasausbeute zeigten gute übereinstimmende Ergebnisse und bestätigen die bisherigen Messungen. Im Praxisanbau konnten ähnliche Methanausbeuten wie im Versuchsanbau erreicht werden. Leider zeigten die Methanertragsmessungen bei den Sudangrashybriden im HBT nur unterdurchschnittliche Werte. Diese sind aber eher auf einen Versuchsfehler zurückzuführen. Auch hier müssen auf Grund der wenigen gemessenen Proben mehr Wiederholungen angestrebt werden.

In der Biogasanlage Rackwitz werden die 3 Silagen in einem Verhältnis von 2,3 (Mais) : 1 (Sorghum) : 1 (Luzerne) eingesetzt. Dieses Mischungsverhältnis wurde auch für die Probe Gemisch im HBT verwendet. Legt man die von den 3 Silagen gemessene Methanausbeute zugrunde, so ergibt sich, bei dem oben genannten Mischungsverhältnis, rechnerisch eine Methanausbeute von 322 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Die Messung ergab fast den gleichen Wert von 318 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Das würde bei einem ausreichenden Probenumfang bedeuten, dass keine Synergieeffekte, z.B. besserer Aufschluss, zwischen diesen 3 Kulturarten stattfinden. Auch für diese Aussage ist der Probenumfang allerdings zu gering.

**Tabelle 19: Erträge und Methanausbeuten im Praxisbetrieb**

Sorte	Ertrag TM dt/ha	TS in % der Frischmasse	gemessene Methanausbeute in NI CH <sub>4</sub> /kg oTS <sup>1)</sup>	TS in % der Silage	gemessene Methanausbeute in NI CH <sub>4</sub> /kg oTS <sup>2)</sup>
Mais XXIRA	86,32	18,9	319,2	32,4	346
SGH Lussi	99,59	25,1	308,8	23,3	270
SGH Sole	92,21	25,9	307,5		
Luzerne				31,3	320
Gemisch <sup>3)</sup>				30,0	318

<sup>1)</sup> Externes Labor (untersucht wurde eingefrorene Frischmasse)

<sup>2)</sup> HBT (untersucht wurde Silage)

<sup>3)</sup> Gemisch besteht aus Mais, Sorghum, Luzerne 2,3:1:1)

## 4 Zusammenfassung

Für die Prüfung der Rohstoffpflanze Sorghumhirse im Vergleich zum Mais wurden verschiedene Methoden der Bestimmung des Bio- und Methangaspotenzials angewendet.

1. Das Biogasbildungspotenzial kann mathematisch berechnet werden. Im Projekt wurde die Berechnung nach WEISSBACH durchgeführt.
2. Eine weitere Methode besteht in der Prüfung des Biogasbildungspotenzials mittels Gärversuch. Im Labor des LfULG stand dafür ein Hohenheimer Biogasertragstester (HBT) zur Verfügung.

Die Ermittlung der Gasausbeute mittels Berechnung nach WEISSBACH stellt eine schnelle und kostengünstige Variante dar. Beim Vergleich mit den gemessenen Methoden wurde jedoch festgestellt, dass mit der Berechnung das Methangaspotenzial der Sorghumhirsen um 12 bzw. 14 % unterschätzt wurde. Für den Betreiber von Biogasanlagen ist es demzufolge wichtig, bei der Planung auf gemessene Werte zurückzugreifen.

Gärversuche im Labor sind mit einem hohen Zeit-, Kosten- und Arbeitsaufwand verbunden. Vorteil der Methode mit dem Hohenheimer Biogasertragstester ist die Bestimmung eines hohen Probendurchsatzes und einer guten Wiederholbarkeit. Um die Messungen statistisch gut absichern zu können, wurde an einem Ringversuch mit Betreibern von Biogaslaboren erfolgreich teilgenommen (Zertifikat). Mit dem Ringversuch konnte nachgewiesen werden, dass man mit Methangasertragsmessungen in verschiedenen Laboren zu gleichen Ergebnissen kommen kann.

Bei den geprüften Silagen im HBT erreichte der **Mais** eine Methangasausbeute von ~ **340 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS** und besitzt damit die höchste Methanausbeute der geprüften Pflanzen. Es folgt die **Körnerhirse** (Sorghum bicolor) mit ~ **330 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS**. Die **Sudangrashybriden** (Sorghum sudanense x Sorghum bicolor) und die **Futterhirsen** (Sorghum bicolor) liegen mit ~ **300 – 310 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS** leicht darunter. Die Körnerhirse hat somit 95 % der Methangasausbeute von Mais erreicht, die Sudangrashybriden und die Futterhirsen erreichen etwa 88 bis 89 %.

Um das Biogasbildungspotenzial berechnen zu können und die Ergebnisse der Gärversuche richtig zu interpretieren, wurde eine große Pflanzenprobenzahl auf **Makro- und Roh Nährstoffgehalte** untersucht.

Unterschiede in der mineralischen Zusammensetzung zwischen Mais und Sorghum waren insbesondere bei den Nährstoffen **Kalium** und **Calcium**, aber auch bei **Stickstoff** zu verzeichnen. Alle Futtersorghumarten und -sorten wiesen deutlich höhere Gehalte an Kalium und Calcium als der Mais auf. Bei der Körnerhirse, aber auch bei den frühreifen Sudangrashybriden wurden zudem vergleichsweise höhere Stickstoffgehalte als beim Mais festgestellt. Bei **Schwefel** und **Magnesium** waren keine nennenswerten Gehaltsunterschiede zwischen Mais und Sorghum festzustellen. Lediglich die Körnerhirse zeigte höhere Werte. Die **Phosphorgehalte** bei den Futterhirsens und Sudangrashybriden waren im Vergleich zum Mais und zur Körnerhirse geringer.

Der **hohe Kaliumentzug** ist bei der **Düngung** zu Sorghum, aber auch bei der Nährstoffversorgung der Nachfrucht zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für leichte sorptionsschwache Böden, auf denen Sorghum vorrangig angebaut wird.

Die **inhaltsstoffliche Zusammensetzung** der Pflanzen hat einen sehr großen Einfluss auf die Methangasausbeute. So konnten Zusammenhänge zwischen der Abreife der Pflanzen, dem Cellulose- und Ligningehalt, dem Stärkegehalt und der Methanausbeute statistisch festgestellt werden.

Bei den **Sudangrashybriden und dem Futtersorghum** konnte ein Zusammenhang zwischen der Abreife der Pflanzen und den Gehalten an Cellulose und Lignin bzw. Lignin festgestellt werden. Mit zunehmenden TS-Gehalten zur Ernte ging eine moderate Zunahme der Gehalte an schwer abbaubaren Zellwandbestandteilen einher. Durch die höheren Cellulose- und Ligningehalte bei den Sudangrashybriden und den Futterhirsens ist die Methangasausbeute gegenüber Mais um 11 bis 12 % geringer. Weiterhin konnte ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen Abreife und TM-Ertrag festgestellt werden. Ein optimaler Aussaat - und Erntezeitpunkt spielt somit eine große Rolle für die optimale Methangasausbeute.

Bei der **Körnerhirse** wirkte sich eine bessere Ausreife deutlich positiv auf den Stärkegehalt und die Verdaulichkeit aus und war mit einem Rückgang der Rohfaser und somit einem Anstieg der Methanausbeute verbunden. Die Körnerhirse, die als einzige Sorghumpflanze Stärke besitzt, liegt in ihrer Methangasausbeute zwischen Mais und den anderen Sorghumsorten. Der Abstand bei der Methanausbeute der Körnerhirse gegenüber Mais beträgt nur 5 %.

Der TS-Gehalt beim **Mais** hatte mit Ausnahme des Zuckergehaltes keinen Einfluss auf die stoffliche Zusammensetzung und die Methanausbeute. Beim Mais spielte die Verdaulichkeit der organischen Substanz eine größere Rolle.

Zwischen den dreijährig geprüften Futtersorghumsorten konnten keine Unterschiede im Methanbildungspotenzial festgestellt werden. Der Fokus bei der Sortenwahl liegt daher vorrangig auf einem guten Kompromiss aus hoher Ertragsleistung und sicherer Abreife bei guter Standfestigkeit.

In einem Praxisbetrieb mit spätem Zweitfruchtanbau waren die Sudangrashybriden dem Mais sowohl im Ertrag als auch bei der physiologischen Reife (siehe TS-Gehalte) überlegen. Die Messung der Methangasausbeute zeigte gute übereinstimmende Ergebnisse mit den Messungen der Versuchspartellen. Im Praxisanbau konnten somit ähnliche Methanausbeuten wie im Versuchsanbau erreicht werden.

In Verbindung mit dem Vorprojekt „Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen“ konnte nachgewiesen werden, dass Sorghumhirse insbesondere unter trockenen Anbaubedingungen eine vielversprechende Anbauoption darstellt, die sich vor allem für Betriebe mit Biogasanlage eignet.

# 5 Literaturverzeichnis

- Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
www.fnr.de und www.nachwachsende-rohstoffe.de
- Fachverband Biogas: www.biogas.org
- DLG-Verlag: www.DLG.org
- GÖDEKE, K. (2012): Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen im Fruchtfolge-  
regime, Teilbereich „Hohenheimer Biogasertragstest“, Stand 7. Dezember 2012, Thüringer Landwirt-  
schaft für Landwirtschaft
- GRÄTZ, M. (2015): Untersuchung von verschiedenen Sorghumsorten im Vergleich zu Silomais in Bezug auf  
den Trockenmasseertrag und die Methanausbeute in der Agrar und Umwelt AG Loberaue, Meisterarbeit
- HELLFRICH, D. & OECHSNER, H. (2003): Hohenheimer Biogasertragstest. Vergleich verschiedener Laborver-  
fahren zur Vergärung von Biomasse. Agrartechnische Forschung 9 (2003) Heft 3, S. 27 - 30
- HERRMANN, C. (2010): Ernte und Silierung pflanzlicher Substrate für die Biomethanisierung – Prozessgrund-  
lagen und Bewertung. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, ISBN:978-3-86955-535-5, S 332
- HERRMANN, C. (2012): ATB POTSDAM  
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Datensammlung Energiepflanzen (2012, 2. Auflage)
- KWS MAIS GMBH: Sorghum Anbauplaner, Stand 2007
- Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.: Auszug Richtwerte für Methanausbeuten verschiede-  
ner Fruchtarten, Stand Dezember 2014
- LIBETRAU (2014): Mathematische Berechnung
- MIEDANER, TH. (2014): Optimale Substrate für Biogas, Methanertrag maximieren – Fruchtfolge verbessern
- THEISS, M. et al. (2014): Pflanzenbauliche, Ökonomische und Ökologische Bewertung von Sorghumarten  
und -hybriden als Energiepflanzen
- VDI-Richtlinie 3475 (2006): Vergärung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger, Blatt 4
- VDI-Richtlinie 4630 (2006): Vergärung organischer Stoffe, Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoff-  
datenerhebung, Gärversuche
- VDLUFA-Methodenbuch Band III (1997): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln (Verbandsmetho-  
den)
- VDLUFA-Methodenbuch Band VII (2011): Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests (Ver-  
bandsmethode)
- WEISSBACH, F. & KUHLA, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Si-  
lagen und Grünfutter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übersicht Tierernährung 23,  
S. 189 - 214
- WEISSBACH, F. (2009): Mathematische Berechnung
- WESOLOWSKI, S.; JÄKEL, K.; FERCHAU, E. (2006): Ermittlung von Gaserträgen mykotoxinbelasteter Getreidear-  
ten für die Co- und Monovergärung
- ZANDER, D. (2011): Fotografische Anleitung zur Einsilierung des Erntematerials in kleine Schlauchsilos
- ZANDER, D.; JÄKEL, K. (2012): Ergebnisse mehrjähriger Sortenversuche Sorghumhirsen; Schriftenreihe des  
LfULG, Heft 24/2012

# Anhang

Anhang 1:	Mittelwerte Rohnnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregionen: D-Nord und D-Süd	61
Anhang 2:	Mittelwerte Rohnnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregionen: Kippe und Löss	62
Anhang 3:	Einzelwerte Rohnnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: D-Nord	63
Anhang 4:	Einzelwerte Rohnnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: D-Süd	64
Anhang 5:	Einzelwerte Rohnnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: Löss	65
Anhang 6:	Einzelwerte Rohnnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: Kippenstandort	66
Anhang 7:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Gülzow (Anbauregion: D-Nord)	67
Anhang 8:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Rockstedt, (Anbauregion: D-Nord)	68
Anhang 9:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Dröbzig (Anbauregion D-Süd)	69
Anhang 10:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Welzow (Anbauregion: Kippe)	70
Anhang 11:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Gadegast (Anbauregion: D-Süd)	71
Anhang 12:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Bernburg (Anbauregion: Löss)	72
Anhang 13:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Trossin (Anbauregion: D-Süd)	73
Anhang 14:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Friemar (Anbauregion: Löss)	74
Anhang 15:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Buttstedt (Anbau im Kleinlysimeter)	75
Anhang 16:	Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Straubing (Anbauregion: Löss)	76
Anhang 17:	Mittlerer Rohnnährstoffgehalt, Methanausbeute und -ertrag Silage Anbaujahr 2012	77
Anhang 18:	Spezifischer Methanertrag (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) in der Maissilage	78
Anhang 19:	Spezifischer Methanertrag (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) in der Sudangrasybridsilage	79
Anhang 20:	Spezifischer Methanertrag (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) in der Futterhirsesilage	80
Anhang 21:	Spezifischer Methanertrag (NI CH <sub>4</sub> /kg oTS) in der Körnerhirsesilage	81
Anhang 22:	Rohnnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2012, Standort: Trossin	82
Anhang 23:	Rohnnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2013, Standort: Trossin	83
Anhang 24:	Rohnnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2012, Standort: Straubing	84
Anhang 25:	Rohnnährstoffgehalt und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2013, Standort: Straubing	85
Anhang 26:	Rohnnährstoffgehalte und Biogasertrag Sudanhybridsorte Lussi (Saatzeitenversuch) AJ 2012, Straubing	86
Anhang 27:	Rohnnährstoffe und Biogasertrag Sudanhybridsorte Lussi (Düngungsversuch) AJ 2012, Straubing	87
Anhang 28:	Rohproteingehalt Sudangrasybridsorte Lussi (Düngungsversuch) Anbaujahr 2012, Straubing	87
Anhang 29:	Substratqualität Silage der Biogasanlage Rackwitz	88
Anhang 30:	Rohnnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag Silage der Biogasanlage Rackwitz	88

**Anhang 1: Mittelwerte Rohnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregionen: D-Nord und D-Süd**

Standort	Fruchtart	TM-Ertrag TS		Rohprotein % TS	Rohfett	Stärke	Gesamtzucker	ELOS	Rohasche	Rohfaser	a <sub>1</sub> NDF <sub>om</sub>	ADF <sub>om</sub>	ADL	FoTS g/kg	Biogas- ertrag berechnet NI/kg oTS	Methan- ertrag berechnet	Methan- hektar- ertrag Nm <sup>3</sup> /ha
		dt/ha	%														
Dassels- bruch (D-Nord)	Mais	215	35,0	6,4	2,5	25,9	7,7	64,9	4,4	20,8	43,0	25,2	2,0	796,6	666	350	7215
	SGH früh	152	28,6	7,0	1,1	.	10,5	42,5	4,5	35,3	68,0	37,5	6,8	644,1	539	283	4116
	Futterhirse	174	27,9	6,7	1,0	.	17,3	46,8	5,2	34,8	65,2	36,5	6,5	643,2	543	285	4701
	Körnerhirse	119	27,3	7,2	1,8	14,8	13,3	57,1	5,8	23,8	57,2	30,2	4,4	754,7	641	336	3836
Gülzow (D-Nord)	Mais	208	33,1	7,0	2,3	26,7	7,1	66,5	4,3	19,0	40,5	23,5	2,0	814,0	681	357	7089
	SGH früh	137	31,5	8,3	1,4	.	7,8	46,4	5,1	32,1	66,7	37,5	6,6	672,0	566	297	3833
	Futterhirse	151	26,2	7,7	1,2	.	13,7	48,9	6,3	32,3	64,8	36,7	5,9	659,5	563	296	4181
	Körnerhirse	101	26,8	9,6	1,9	9,3	13,4	58,2	7,0	21,1	57,0	30,1	5,9	768,0	661	347	3262
Rock-stedt (D-Nord)	Mais	203	33,2	7,1	2,4	24,9	6,8	63,4	4,9	20,9	44,9	25,9	2,3	790,9	665	349	6951
	SGH früh	147	29,3	8,3	1,1	.	10,1	43,0	4,1	34,0	66,8	35,8	6,1	662,7	552	290	4104
	Futterhirse	162	25,1	7,7	1,0	.	13,3	44,4	5,1	34,8	65,4	35,6	5,5	643,8	543	285	4381
	Körnerhirse	111	25,0	7,9	1,5	3,7	15,5	56,6	5,3	24,9	55,5	28,5	4,7	746,6	630	331	3503
Drößig (D-Süd)	Mais	146	33,9	7,0	2,3	27,1	6,8	66,1	4,0	20,5	43,4	24,9	2,1	802,4	669	351	4931
	SGH früh	142	31,1	7,2	1,4	.	7,5	42,0	4,6	35,9	69,1	37,2	7,1	635,2	533	280	3784
	Futterhirse	145	26,4	7,4	1,5	.	10,8	48,8	5,6	37,1	69,9	39,1	7,1	607,9	515	270	3757
	Körnerhirse	70	23,8	8,0	2,0	7,4	3,0	51,1	9,6	31,7	69,0	38,0	9,1	632,7	558	293	1888
Gadegast (D-Süd)	Mais	174	37,2	7,3	2,4	28,8	6,3	66,4	4,1	18,6	40,1	23,8	2,2	818,7	683	359	5985
	SGH früh	124	35,2	8,5	1,5	.	7,9	44,7	4,0	34,9	68,2	38,1	7,0	653,5	545	286	3384
	Futterhirse	125	28,6	7,4	1,2	.	19,3	50,4	4,6	33,2	61,0	33,5	5,3	666,6	559	294	3499
	Körnerhirse	81	29,1	9,9	1,9	11,1	12,6	54,9	5,9	27,2	59,4	31,9	5,7	718,5	611	321	2510
Güterfelde (D-Süd)	Mais	199	30,5	7,7	2,3	25,7	6,9	65,7	4,2	19,4	41,3	23,7	2,2	810,9	677	356	6783
	SGH früh	146	29,4	9,3	1,4	.	5,7	40,6	4,1	35,8	69,6	37,4	7,1	641,2	535	281	3915
	Futterhirse	182	27,5	8,4	1,1	.	10,0	43,6	4,4	36,7	67,7	37,1	6,2	626,9	524	275	4790
	Körnerhirse	94	24,8	11,2	1,8	7,0	6,4	51,2	6,9	28,1	62,7	32,0	6,6	701,3	602	316	2791
Trossin (D-Süd)	Mais	148	32,7	7,5	2,0	20,3	6,4	60,7	4,5	23,0	47,6	28,0	2,6	775,0	649	341	4839
	SGH früh	108	33,8	9,0	1,3	.	5,5	42,9	4,7	36,2	69,9	38,8	7,1	628,4	527	277	2992
	Futterhirse	135	26,7	8,6	1,3	.	15,1	51,2	4,5	32,3	63,4	33,4	5,2	678,3	568	298	3823
	Körnerhirse	95	27,4	10,1	2,0	11,2	9,0	54,3	6,3	26,3	60,0	30,7	7,3	726,2	620	325	2903

Mittelwerte beziehen sich bei Mais und Sorghum auf die Anbaujahre 2011 bis 2013 und bei Körnerhirse auf die Anbaujahre 2012 und 2013

(Quelle: THEISS et al. 2014, ergänzt)

## Anhang 2: Mittelwerte Rohnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregionen: Kippe und Löss

Standort	Fruchtart	TM-Ertrag		Roh-protein	Roh-fett	Stärke	Gesamt-zucker	ELOS	Roh-asche	Roh-faser	a <sub>NDF<sub>om</sub></sub>	ADF <sub>om</sub>	ADL	FoTS	Biogas-ertrag	Methan-ertrag	Methan-ektar-ertrag
		dt/ha	%	% TS	g/kg										Nl/kg oTS	Nm <sup>3</sup> /ha	
Grüne-walde (K)	Mais	153	33,8	6,4	2,1	25,5	7,3	63,5	4,4	21,9	45,0	26,8	2,3	786,1	658	345	5069
	SGH früh	150	29,6	7,8	1,2	.	9,0	39,3	4,7	36,9	68,9	36,8	7,2	621,9	522	274	3929
	Futterhirse	149	26,3	7,0	0,9	.	19,7	46,9	5,1	36,3	62,6	33,8	5,7	624,2	527	276	3900
	Körnerhirse	74	22,4	8,7	1,7	5,6	8,3	46,8	7,9	32,4	64,0	33,8	7,2	642,1	557	293	2039
Welzow (K)	Mais	125	32,8	5,3	1,8	24,4	8,5	65,9	4,2	21,8	45,0	25,5	2,1	789,5	659	346	4201
	SGH früh	112	32,0	5,6	1,2	.	9,1	46,0	4,9	35,3	67,7	37,1	6,0	637,7	536	282	2926
	Futterhirse	132	29,0	4,8	1,1	.	16,6	48,7	5,5	33,9	63,4	34,0	5,4	650,3	550	289	3560
	Körnerhirse	69	31,1	5,6	1,5	1,7	11,4	51,8	6,4	30,5	61,7	32,9	6,1	679,3	581	305	1991
Bernburg (Löss)	Mais	235	32,6	7,3	2,4	25,2	7,3	64,7	4,8	19,5	41,7	25,1	2,2	804,4	676	355	7953
	SGH früh	183	33,6	9,0	1,5	.	6,2	41,2	5,5	33,2	66,1	37,5	6,9	658,1	557	292	5052
	Futterhirse	218	30,7	8,3	1,1	.	9,9	41,5	6,2	37,1	66,7	38,6	5,6	603,8	515	270	5497
	Körnerhirse	119	26,9	10,1	2,0	13,5	5,4	50,5	8,0	26,0	60,8	33,2	6,5	710,8	618	325	3557
Dornburg (Löss)	Mais	185	32,2	6,5	2,4	29,9	7,1	67,6	4,3	18,2	39,3	22,4	1,9	820,8	686	360	6332
	SGH früh	144	31,6	8,1	1,2	.	7,4	43,6	5,6	32,1	65,5	37,0	7,0	669,6	567	298	4060
	Futterhirse	151	25,8	7,6	1,1	.	10,6	43,9	6,0	34,4	66,0	36,9	5,8	639,1	544	286	4054
	Körnerhirse	85	23,4	9,3	1,4	8,1	9,0	52,5	8,0	27,1	58,7	32,0	5,9	700,1	609	320	2517
Friemar (Löss)	Mais	205	29,2	6,8	2,1	26,9	6,8	66,0	4,0	19,7	42,1	23,3	1,9	811,2	676	355	6439
	SGH früh	175	30,2	8,2	1,2	.	9,1	42,4	5,4	33,3	64,5	36,3	5,6	657,8	556	292	4991
	Futterhirse	179	25,3	7,6	1,1	.	13,6	44,4	6,0	34,0	63,9	35,1	6,0	643,6	547	287	4862
	Körnerhirse	109	25,3	7,7	1,9	17,0	16,3	56,9	6,6	20,1	52,0	25,7	6,6	780,9	669	351	3919
Poppen- burg (Löss)	Mais	235	35,5	6,6	2,8	27,5	6,2	63,2	4,7	21,2	45,1	26,6	2,1	790,2	663	348	7824
	SGH früh	156	28,8	8,9	1,1	.	10,7	44,2	5,5	33,4	64,4	35,1	5,5	655,2	554	291	4296
	Futterhirse	172	26,0	7,9	1,0	.	14,4	44,7	6,3	35,4	65,3	36,6	5,9	624,6	533	280	4511
	Körnerhirse	109	24,1	9,8	1,3	3,0	15,5	53,5	7,4	26,8	55,4	28,9	4,1	709,0	612	321	3270
Straubing (Löss)	Mais	223	36,0	6,6	2,8	27,2	6,0	63,6	4,7	20,0	42,4	26,0	2,3	801,2	673	353	7506
	SGH früh	168	30,9	8,0	1,2	.	9,0	43,2	5,2	33,1	66,6	37,8	6,5	662,0	558	293	4667
	Futterhirse	200	28,9	6,9	1,0	.	15,0	46,2	4,7	34,7	63,1	37,0	4,7	647,9	544	286	5434
	Körnerhirse	126	26,0	9,5	1,5	9,9	7,3	49,8	7,2	27,9	63,3	35,2	6,4	698,0	601	316	3701

Mittelwerte beziehen sich bei Mais und Sorghum auf die Anbaujahre 2011 bis 2013 und bei Körnerhirse auf die Anbaujahre 2012 und 2013

(Quelle: THEISS et al. 2014, ergänzt)

Anhang 3: Einzelwerte Rohnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: D-Nord

Standort: Gülzow (MV)			Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe <sup>1</sup>										Mineralstoffe <sup>1</sup>				
Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Spezifischer Methan- trag (Methode: HBT) Silage NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methan- trag (Methode: HBT) Häckselgut NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Biogaser- trag (Methode: WEIß- BACH, 2009); Häcksel- gut NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Trockensubstanz in %	Rohasche in % TS	Rohprotein in % TS	Rohfaser in % TS	Rohfett in % TS	Stärke in % TS	Gesamtzucker in % TS	ELOS in % TS	ADFom in % TS	aNDFom in % TS	ADL in % TS	Calcium in % TS	Kalium in % TS	Magnesium in % TS	Phosphor in % TS	Schwefel in % TS
Mais	Atletico	2011	347	331	339	33,4	4,49	6,47	19,7	1,96	30,3	5,17	65,4	25,3	41,5	2,59	0,26	1,11	0,15	0,23	0,08
		2012	344	336	339	30,6	4,74	8,63	19,4	2,41	27,1	9,10	76,3	22,0	44,7	1,98	0,23	0,93	0,19	0,16	0,10
	LG 3216	2011	334	341	339	33,9	4,25	6,02	19,9	2,06	30,7	5,47	64,8	25,5	40,8	2,46	0,23	1,07	0,16	0,22	0,08
		2012	345	n. b.	336	31,3	5,04	8,32	19,9	2,31	26,8	9,55	75,9	22,0	44,1	1,90	0,25	0,92	0,19	0,15	0,09
Sudangras	Lussi	2011	305	274	248	30,2	5,90	7,63	38,5	1,10	n. b.	4,59	37,2	42,8	71,8	7,20	0,36	1,06	0,14	0,24	0,09
		2012	315	289	276	34,7	4,65	7,75	34,0	1,24	n. b.	11,1	43,5	38,3	68,4	7,01	0,29	0,89	0,13	0,12	0,09
	KWS Freya	2011	301	266	252	28,8	6,50	7,76	37,2	1,27	n. b.	7,35	40,1	40,7	70,0	6,24	0,39	1,35	0,17	0,23	0,09
2012		326	n. b.	285	30,5	5,25	8,13	31,7	1,36	n. b.	13,5	49,7	35,7	64,8	5,66	0,33	1,17	0,16	0,12	0,09	
	KWS Sole	2012	326	n. b.	281	32,4	5,27	8,06	32,4	1,28	n. b.	13,2	47,4	36,5	66,0	6,30	0,31	1,23	0,15	0,11	0,09
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	326	292	324	26,9	6,08	9,61	21,9	1,84	6,11	17,6	56,4	28,6	54,2	5,79	0,28	1,29	0,19	0,17	0,11
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	311	282	271	20,9	7,81	7,51	32,4	1,37	n. b.	12,9	47,6	36,0	62,2	4,28	0,39	1,92	0,18	0,24	0,08
		2012	307	317	293	22,5	5,76	8,48	29,5	1,07	403b.	18,5	55,2	33,9	61,7	5,56	0,32	1,66	0,19	0,12	0,08
	Herkules	2011	319	244	256	23,2	6,83	6,33	36,2	1,18	n. b.	10,5	41,8	39,5	66,5	5,83	0,32	1,73	0,17	0,19	0,07
		2012	310	314	279	24,3	6,01	8,73	32,3	1,15	n. b.	14,6	50,2	35,9	65,5	5,96	0,30	1,54	0,20	0,11	0,09
	BMR 201	2011	n. b.		296	23,1	8,41	7,13	26,3	1,37	n. b.	24,2	60,0	28,3	49,5	2,39	0,34	1,74	0,14	0,20	0,08
	KWS Zerberus	2011	323	268	272	26,1	6,60	6,89	33,1	1,24	n. b.	12,6	46,5	37,4	63,9	5,36	0,31	1,58	0,16	0,19	0,07
		2012	312	317	283	27,1	5,30	8,44	32,1	1,25	n. b.	14,8	50,1	35,9	65,0	5,18	0,27	1,33	0,20	0,12	0,08
	KWS Odin	2011	273	264	259	25,3	6,84	6,69	35,6	1,16	n. b.	10,6	43,8	39,4	66,3	5,88	0,33	1,73	0,17	0,19	0,07
Amiggo	2011	303	215	253	26,8	6,37	6,44	37,1	0,99	n. b.	8,89	40,9	41,3	68,2	6,434,8	0,33	1,73	0,16	0,20	0,07	
	2012	293	n. b.	281	27,7	5,41	8,59	32,3	1,16	n. b.	15,1	50,3	36,3	64,7	3	0,29	1,46	0,17	0,11	0,08	
Biomasse 150	2011	260	206	257	23,4	6,43	6,92	36,3	1,09	n. b.	6,50	41,5	41,7	68,6	6,44	0,37	1,83	0,18	0,19	0,07	
KWS Tarzan	2012	333	n. b.	277	27,7	5,38	9,29	33,3	1,06	n. b.	11,4	48,6	38,3	67,1	5,33	0,31	1,42	0,18	0,12	0,09	

<sup>1</sup> Einzelwerte Rohnähr- und Mineralstoffe beziehen sich auf das Häckselgut der ausgewählten Mais- und Sorghumsorte pro Anbaujahr 2011 und 2012; n. b. – nicht bestimmt

(Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe und Mineralstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

Anhang 4: Einzelwerte Rohnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: D-Süd

Standort: Trossin (SN)			Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe <sup>1</sup>										Mineralstoffe <sup>1</sup>				
Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Silage NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Häckselgut NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag (Methode: WEIßBACH, 2009) Häckselgut NI CH4 / kg oTS	Trockensubstanz in %	Rohasche in % TS	Rohprotein in % TS	Rohfaser in % TS	Rohfett in % TS	Stärke in % TS	Gesamtzucker in % TS	ELOS in % TS	ADFom in % TS	aNDFom in % TS	ADL in % TS	Calcium in % TS	Kalium in % TS	Magnesium in % TS	Phosphor in % TS	Schwefel in % TS
Mais	Atletico	2011	316	341	345	32,2	3,96	7,11	18,5	2,41	33,6	4,23	66,9	22,9	38,9	1,98	0,26	0,94	0,21	0,27	0,09
		2012	334		302	34,0	6,02	8,67	27,1	1,69	19,7	3,93	59,4	31,2	54,1	3,15	0,26	1,56	0,23	0,21	0,10
	LG 3216	2011	342	339	337	31,0	3,95	6,98	20,8	2,40	30,1	3,70	64,7	26,3	42,4	2,31	0,26	1,00	0,22	0,26	0,09
		2012	325		293	39,8	5,92	7,72	29,3	1,49	16,8	3,02	56,5	34,1	57,7	3,41	0,31	1,56	0,25	0,19	0,10
Sudangras	Lussi	2011	283	275	226	26,0	5,48	8,40	42,7	1,10	n. b.	<1	33,5	46,7	77,0	9,07	0,42	1,14	0,25	0,29	0,12
		2012	298	246	248	36,8	5,13	9,47	39,1	1,45	n. b.	3,64	43,5	43,0	75,2	8,78	0,38	1,43	0,24	0,17	0,11
	KWS Freya	2011	285		244	26,1	5,40	8,87	39,5	1,27	n. b.	0,55	38,0	44,3	74,4	9,02	0,50	1,11	0,30	0,29	0,12
		2012	278	294	268	30,3	5,83	9,25	34,7	1,54	n. b.	7,93	47,3	37,2	69,5	7,35	0,41	1,74	0,25	0,17	0,11
	KWS Sole	2012	309	n. b.	267	32,1	6,18	9,04	34,5	1,50	n. b.	8,06	47,2	37,1	68,8	7,05	0,40	1,87	0,25	0,17	0,11
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	318	n. b.	308	32,7	6,75	9,74	25,2	2,01	13,5	5,96	55,1	31,6	59,5	7,75	0,31	1,72	0,28	0,21	0,12
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	285	306	276	25,0	4,40	8,11	34,3	1,13	n. b.	15,7	47,7	37,4	65,9	6,90	0,49	0,93	0,28	0,26	0,10
		2012	298	n. b.	280	23,6	5,65	8,24	32,2	1,17	n. b.	16,9	54,7	34,0	63,6	5,19	0,37	1,79	0,23	0,14	0,09
	Herkules	2011	302	313	275	40,4	3,67	6,38	35,0	1,03	n. b.	18,0	46,3	38,1	66,5	7,56	0,30	0,68	0,19	0,18	0,06
		2012	313	308	292	24,1	6,26	9,03	29,3	1,26	n. b.	17,8	56,7	30,6	60,7	4,70	0,39	1,92	0,24	0,16	0,10
	BMR 201	2011	n. b.	341	285	19,6	6,18	10,4	30,7	1,48	n. b.	14,9	56,4	33,3	60,3	4,66	0,47	1,33	0,32	0,30	0,12
	KWS Zerberus	2011	300	318	289	33,3	3,51	6,97	32,3	1,37	n. b.	13,6	47,5	37,3	66,4	7,05	0,29	0,82	0,21	0,19	0,07
		2012	316	299	278	28,0	6,04	9,68	32,5	1,37	n. b.	10,6	54,6	35,3	66,2	5,30	0,39	1,85	0,27	0,14	0,10
	KWS Odin	2011	293	299	276	33,3	4,01	6,76	34,5	1,30	n. b.	12,7	44,8	38,6	68,5	7,23	0,32	0,91	0,21	0,21	0,09
Amiggo	2011	293	296	283	35,8	3,01	7,16	34,0	1,28	n. b.	13,2	43,8	38,8	68,3	7,52	0,30	0,90	0,19	0,20	0,07	
	2012	257	n. b.	278	27,5	5,30	9,75	33,0	1,32	n. b.	12,8	51,8	34,8	66,5	5,62	0,44	1,82	0,26	0,15	0,10	
Biomasse 150	2011	262	308	264	35,1	3,86	5,17	37,0	0,86	n. b.	16,9	43,0	40,5	68,3	8,17	0,27	0,86	0,16	0,16	0,06	
KWS Tarzan	2012	321	n. b.	278	27,9	5,72	9,42	32,8	1,17	n. b.	14,2	51,6	34,4	65,5	5,45	0,41	1,85	0,26	0,15	0,10	

<sup>1</sup>Einzelwerte Rohnähr- und Mineralstoffe beziehen sich auf das Häckselgut der ausgewählten Mais- und Sorghumsorte pro Anbaujahr 2011 und 2012; n. b. – nicht bestimmt. (Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe und Mineralstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 5: Einzelwerte Rohnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: Löss**

Standort: Straubing (BY)			Biogasbildungspotenzial			Rohnährstoffe <sup>1</sup>											Mineralstoffe <sup>1</sup>				
Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Silage NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Häckselgut NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag (Methode: WEIßBACH, 2009) Häckselgut NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Trockensubstanz in %	Rohasche in % TS	Rohprotein in % TS	Rohfaser in % TS	Rohfett in % TS	Stärke in % TS	Gesamtzucker in % TS	ELOS in % TS	ADFom in % TS	aNDFom in % TS	ADL in % TS	Calcium in % TS	Kalium in % TS	Magnesium in % TS	Phosphor in % TS	Schwefel in % TS
Mais	Atletico	2011	340 (n. v.)	n. b.	334	37,3	4,77	5,68	20,5	2,11	30,6	4,59	64,1	26,2	41,7	2,62	0,27	0,85	0,15	0,20	0,08
		2012	349 (n.v.) 359 (v.)	n. b.	333	30,0	5,70	7,92	19,8	3,14	32,1	4,47	68,1	25,1	44,6	2,30	0,29	1,06	0,16	0,26	0,09
Mais	LG 3216	2011	348 (n.v.)	n. b.	326	37,9	5,76	6,15	21,8	2,55	24,5	6,30	60,0	28,2	44,5	2,63	0,30	0,92	0,17	0,22	0,08
		2012	348 (n.v.) 368 (v.)	n. b.	327	31,3	5,99	7,88	21,0	3,15	29,2	5,13	65,7	27,0	46,7	2,54	0,29	1,15	0,17	0,27	0,09
Sudangras	Lussi	2011	314 (n.v.)	n. b.	272	32,9	7,13	8,41	32,8	1,16	n. b.	11,4	45,1	38,9	63,4	6,55	0,34	1,36	0,14	0,17	0,09
		2012	285 (n.v.) 337 (v.)	n. b.	264	29,2	5,83	7,95	35,4	0,97	n. b.	3,25	38,3	42,2	72,8	8,13	0,41	1,10	0,13	0,18	0,08
	KWS Freya	2011	n. b.	308	282	31,0	6,48	7,66	31,2	1,15	n. b.	15,8	49,1	37,1	60,5	6,23	0,36	1,23	0,15	0,17	0,08
2012		264	n. b.	260	26,7	5,36	7,49	36,7	0,85	n. b.	5,98	37,9	42,4	73,9	8,10	0,42	1,21	0,15	0,17	0,08	
Sudangras	KWS Sole	2011	312 (n.v.)	n. b.	256	27,8	6,21	7,65	36,6	0,84	n. b.	5,22	37,7	42,2	72,7	8,24	0,44	1,27	0,15	0,16	0,09
		2012	337 (v.)	n. b.	256	27,8	6,21	7,65	36,6	0,84	n. b.	5,22	37,7	42,2	72,7	8,24	0,44	1,27	0,15	0,16	0,09
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	318 (früh) 377 359	255 (früh) 296 (spät)	269 (früh)	19,9 (früh)	4,77 5,70	5,68 7,92	20,50 19,76	2,11 3,14	30,59 32,12	4,59 4,47	64,10 68,10	26,25 25,13	41,76 44,58	2,62 2,30	0,27 0,29	0,85 -	0,15 0,16	0,20 0,26	0,08 0,09
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	314	312	265	25,5	6,06	6,58	35,10	0,79	n. b.	15,12	48,13	40,62	61,37	4,67	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
		2012	268	273	276	23,8	5,82	7,25	33,08	0,89	n. b.	17,20	50,27	35,93	61,67	5,55	0,46	1,64	0,18	0,19	0,08
	Herkules	2011	313	313	253	28,8	5,58	5,82	37,7	0,83	n. b.	15,2	44,5	41,7	63,7	4,69	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
		2012	311	308	274	27,2	5,49	6,86	33,8	1,00	n. b.	17,7	48,2	35,8	62,0	5,03	0,38	1,26	0,15	0,15	0,08
	KWS Zerberus	2011	299	n. b.	274	30,2	5,80	6,84	33,6	1,14	n. b.	11,1	47,4	40,6	63,0	5,30	0,31	1,01	0,18	0,15	0,08
		2012	316	278	273	25,0	5,71	6,92	33,7	1,09	n. b.	15,9	49,3	36,0	61,8	4,48	0,37	1,22	0,16	0,16	0,08
	KWS Odin	2011	296	n. b.	266	30,9	6,07	6,21	34,9	1,13	n. b.	10,8	45,3	41,2	63,6	5,38	0,31	1,16	0,15	0,14	0,08
Amiggo	2011	267	307	264	30,5	5,95	6,93	35,4	0,99	n. b.	10,4	43,0	42,2	65,3	5,57	0,33	1,16	0,15	0,17	0,09	
	2012	314	n. b.	270	25,7	5,79	7,23	34,3	1,01	n. b.	15,3	46,5	37,0	63,6	5,18	0,41	1,24	0,15	0,16	0,08	
Biomasse 150	2011	302	323	255	28,9	5,15	6,12	37,8	0,81	n. b.	11,6	43,9	43,4	66,4	5,33	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	
KWS Tarzan	2012	311	n. b.	261	29,3	5,77	6,70	36,1	1,06	n. b.	15,5	44,2	37,2	63,0	4,07	0,41	1,30	0,14	0,15	0,08	

<sup>1</sup>Einzelwerte Rohnähr- und Mineralstoffe beziehen sich auf das Häckselgut der ausgewählten Mais – und Sorghumsorte pro Anbaujahr 2011 und 2012; n. b. – nicht bestimmt; (Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe und Mineralstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 6: Einzelwerte Rohnährstoffe, Mineralstoffe, Methanausbeute und -ertrag der Anbauregion: Kippenstandort**

Standort: Welzow (BB)			Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe <sup>1</sup>										Mineralstoffe <sup>1</sup>				
Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Silage NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Methanertrag (Methode: HBT) Hackselgut NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag (Methode: WEIßBACH, 2009) Hackselgut NI CH4 / kg oTS	Trockensubstanz in %	Rohasche in % TS	Rohprotein in % TS	Rohfaser in % TS	Rohfett in % TS	Stärke in % TS	Gesamtzucker in % TS	ELOS in % TS	ADFom in % TS	aNDFom in % TS	ADL in % TS	Calcium in % TS	Kalium in % TS	Magnesium in % TS	Phosphor in % TS	Schwefel in % TS
Mais	Atletico	2011 2012	n. b. 339	354 339	344 314	30,8	4,35 4,94	6,64 5,25	18,3 25,4	2,39 1,78	29,9 23,4	7,12 8,60	70,1 68,6	22,0 28,1	40,4 51,5	1,71 2,23	0,24 0,19	1,19 1,28	0,14 0,12	0,23 0,22	0,08 0,06
	LG 3216	2011 2012	n. b. 347	n. b. n. b.	346 321	31,9	4,02 4,66	5,87 4,87	18,1 24,0	2,16 2,07	34,3 31,0	5,70 5,31	69,9 69,6	21,7 27,1	39,3 48,8	1,93 2,19	0,19 0,18	1,29 1,26	0,13 0,13	0,23 0,23	0,06 0,05
Sudangras	Lussi	2011 2012	n. b. 319	263 308	268 231	31,7 36,9	4,32 5,88	5,30 4,71	35,9 41,6	1,18 0,98	n. b. n. b.	9,35 2,21	41,1 44,1	40,4 46,3	69,8 75,4	7,85 7,32	0,23 0,29	1,33 1,58	0,09 0,09	0,22 0,20	0,06 0,08
	KWS Freya	2011 2012	n. b. n. b.	n. b. n. b.	269 260	28,8 30,4	4,75 6,64	5,01 5,39	35,4 35,6	1,14 1,65	n. b. n. b.	12,7 10,3	44,3 47,2	39,1 36,7	67,8 69,1	7,47 6,32	0,23 0,33	1,42 1,87	0,09 0,11	0,19 0,20	0,06 0,07
	KWS Sole	2012	304	n. b.	259	31,8	6,65	5,19	35,8	1,48	n. b.	9,96	45,6	37,3	69,7	6,77	0,32	1,77	0,11	0,19	0,07
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	330	322	290	31,1	6,74	5,98	29,3	1,90	3,00	10,3	50,9	34,0	62,9	6,73	0,30	1,76	0,13	0,21	0,10
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011 2012	319 297	284 314	275 278	24,4 26,1	5,97 6,13	3,45 5,33	33,1 32,3	0,91 1,16	n. b. n. b.	24,0 17,9	48,8 50,8	33,5 33,8	59,0 63,8	6,35 5,70	0,22 0,30	1,55 1,66	0,12 0,11	0,17 0,16	0,06 0,06
	Herkules	2011 2012	307 323	294 311	274 267	27,3 28,1	5,18 5,82	2,96 4,96	34,1 34,9	0,99 1,07	n. b. n. b.	20,3 16,2	47,2 47,4	36,4 36,4	63,0 67,1	7,08 6,34	0,18 0,26	1,23 1,59	0,08 0,11	0,15 0,16	0,05 0,06
	KWS Zerberus	2011 2012	294 311	284 314	269 271	28,5 29,8	5,04 5,75	2,89 4,95	35,1 34,1	0,98 1,12	n. b. n. b.	19,2 16,3	45,4 48,7	37,6 35,7	64,9 66,3	7,65 6,19	0,19 0,27	1,30 1,69	0,13 0,11	0,17 0,16	0,05 0,06
	KWS Odin	2011	316	n. b.	262	29,1	5,10	2,99	36,3	0,98	n. b.	18,8	44,1	38,0	66,3	7,38	0,20	1,45	0,11	0,16	0,06
	Amiggo	2011 2012	308 290	n. b. n. b.	272 266	29,7 30,9	5,13 5,67	3,49 6,17	34,4 35,2	1,06 1,07	n. b. n. b.	17,4 15,6	45,0 47,0	37,4 35,7	64,7 66,7	7,56 5,82	0,21 0,32	1,50 1,64	0,11 0,11	0,18 0,16	0,06 0,08
	Biomasse 150	2011	314	n. b.	272	29,6	4,97	2,89	34,5	0,86	n. b.	21,3	47,4	36,9	63,1	7,15	0,20	1,20	0,10	0,14	0,05
	KWS Tarzan	2012	309	n. b.	267	30,8	5,81	5,53	34,9	1,10	n. b.	17,0	46,7	35,4	66,4	6,04	0,29	1,69	0,11	0,15	0,08

<sup>1</sup> Einzelwerte Rohnähr- und Mineralstoffe beziehen sich auf das Hackselgut der ausgewählten Mais – und Sorghumsorte pro Anbaujahr 2011 und 2012; n. b. – nicht bestimmt;  
(Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe und Mineralstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

Anhang 7: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Gülzow (Anbauregion: D-Nord)

Standort: Gülzow (MV) Anbaujahr: 2011				Sensorische Begutachtung				Biogasbildungspotenzial Methode: HBT	
Frucht-art	Sorte	TS	Schimmelbefall	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe	oTS	Spezifischer Methanertrag
		%						%	NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
Mais, siliert	Atletico	33,4	n. b.	Häckselqualität	Essig, würzig, schimm- lig	feucht, kein Sickerwasser	gelb	95,6	347
	LG 3216	33,9	kein	Häckselqualität	schwach Essig, würzig, muffig	feucht, kein Sickerwasser	gelb	95,7	334
SG, siliert	Lussi	30,2	n.b.	n. b.	schwach Essig, würzig	trocken, kein Sickerwas- ser	gelb-braun	93,3	305
	KWS Freya	28,8	kein	n. b.	schwach Essig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün-braun	93,1	301
	Nutri Honey	22,5	kein	n. b.	Essig, intensiv	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	n. b.	n. b.
FH, siliert	Sucrosorgo 506	20,9	vorhanden	n. b.	Essig, leicht muffig (Kuhstall)	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	92,1	311
	Herkules	23,2	kein	n. b.	Essig, leicht muffig (Benzin), würzig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	93,3	319
	BMR 201	23,1	kein	n. b.	Essig, würzig, ange- nehm	nass, Sickerwasser	braun-grün	n. b.	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	23,2	kein	n. b.	Essig, intensiv	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	n. b.	n. b.-
FH, siliert	KWS Zerberus	26,1	vorhanden	n. b.	Essig	nass, kein Sickerwasser	gelb-grün	92,6	323
	KWS Odin	25,3	kein	n. b.	leicht säuerlich - Essig, arteigen	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	-	273
	Amiggo (RHS 1092)	26,8	kein	n. b.	Essig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	92,8	303
	Biomasse 150	23,4	vorhanden	n. b.	Essig, leicht schimmig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	-	260
SG, siliert	Niagara 2	21,4	kein	n. b.	Essig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	n. b.	n. b.
	Latte	23,6	kein	sehr fest gepackt	Essig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	n. b.	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 8: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Rockstedt, (Anbauregion: D-Nord)

Standort: Rockstedt (NS) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung			
Fruchtart	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe
Mais, siliert	Atletico	28,6	grobes Material	Alkohol-Ester, teigig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun
	LG 3216	28,7	grobes Material	Alkohol-Ester, teigig, stechend	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun
SG, siliert	Lussi	29,8	grobes Material, schwarze Pilze am Blattwerk	fruchtig, muffig	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
	KWS Freya	26,4	grobes Material	Alkohol-Ester, fruchtig	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun
	Nutri Honey	21,3	grobes Material	fruchtig (Wein)	nass, Sickerwasser	grün-braun
FH, siliert	Sucrosorgo 506	18,4	grobes Material	Alkohol, schimmelig, stechend	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun
	Herkules	22,2	grobes Material	Alkohol-Ester	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-grün
	BMR 201	20,7	grobes Material, schimmelig	stechend, muffig	nass, Sickerwasser	grün
SG, siliert	Super Dolce	22,2	grobes Material	-	nass, kein Sickerwasser	grün
FH, siliert	KWS Zerberus	23,8	grobes Material	teigig, schimmelig	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-grün
	KWS Odin	23,8	grobes Material	nach Aceton	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-grün
	Amiggo (RHS 1092)	24,1	grobes Material	Stechend	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-grün
	Biomasse 150	21,9	grobes Material	schwach - Alkohol, Essig	trocken, kein Sickerwasser	gelb
SG, siliert	Niagara 2	18,8	grobes Material	Alkohol, schimmelig	nass, Sickerwasser	grün
	Latte	21,4	grobes Material	Alkohol, teigig	nass, kein Sickerwasser	oliv

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 9: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Dröbzig (Anbauregion D-Süd)

Standort: Dröbzig (BB) Anbaujahr 2011			Sensorische Begutachtung				Biogasbildungspotenzial Methode: HBT
Fruchtart	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe	Spezifischer Methanertrag  NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
Mais, siliert	Atletico	35,2	grobes Material	Alkohol-Ester, teigig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	344
	LG 3216	35,6	grobes Material	Alkohol-Ester, teigig, stechend	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	353
SG, siliert	Lussi	29,2	grobes Material, schwarze Pilze am Blattwerk	fruchtig, muffig	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb	294
	KWS Freya	28,1	grobes Material	Alkohol-Ester, fruchtig	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun	283
	Nutri Honey	21,6	grobes Material	fruchtig (Wein)	nass, Sickerwasser	grün-braun	n. b.
FH, siliert	Sucrosorgo 506	25,5	grobes Material	Alkohol, schimmelig, stechend	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	293
	Herkules	26,6	grobes Material	Alkohol-Ester	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	293
	BMR 201	20,1	grobes Material	stechend, muffig	nass, Sickerwasser	Grün	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	21,7	grobes Material	-	nass, kein Sickerwasser	Grün	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	28,6	grobes Material	teigig, schimmelig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	286
	KWS Odin	32,5	grobes Material	nach Aceton	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	296
	Amiggo (RHS 1092)	31,1	grobes Material	stechend	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	283
	Biomasse 150	31,3	grobes Material	schwach - Alkohol, Essig	trocken, kein Sickerwasser	Gelb	303
SG, siliert	Niagara 2	19,5	grobes Material	Alkohol, schimmelig	nass, Sickerwasser	Grün	n. b.
	Latte	25,3	grobes Material	Alkohol, teigig	nass, kein Sickerwasser	Oliv	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 10: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Welzow (Anbauregion: Kippe)

Standort: Welzow (BB) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung			Biogas- bildungspotenzial Methode: HBT
Fruchtart	Sorte	TS %	Geruch	Feuchte	Farbe	Spezifischer Methanertrag NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
FH, siliert	Sucrosorgo 506	24,4	Alkohol-Ester	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	319
	Herkules	27,3	Alkohol-Ester	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	307
	BMR 201	-	Alkohol-Ester, dezent	nass, Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	-	Alkohol-Ester	nass, kein Sickerwasser	gelb-grün bis rötlich	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	28,5	säuerlich	trocken, kein Sickerwasser	gelb bis rötlich	294
	KWS Odin	29,1	Alkohol-Ester	feucht, kein Sickerwasser	gelb bis rötlich	316
	Amiggo (RHS 1092)	29,7	Alkohol-Ester, säuerlich	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	308
	Biomasse 150	29,6	Alkohol-Ester, fruchtig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	314
SG, siliert	Niagara 2	-	Alkohol-Ester, fruchtig	nass, kein Sickerwasser	gelb-braun bis rötlich	n. b.
	Latte	-	Alkohol-Ester	nass, kein Sickerwasser	grün-braun bis rötlich	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 11: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort. Gadegast (Anbauregion: D-Süd)

Standort: Gadegast (ST) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung				Biogas- bildungspotenzial Methode: HBT
Frucht-art	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe	Spezifischer Methanertrag  NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
SG, siliert	Lussi	35,2	Material locker gepackt, kein fester Kern	schwach nach Ester	handfeucht, kein Sicker- wasser	grün	263
	Nutri Honey	26,3	Material locker gepackt, kein fester Kern	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
FH, siliert	Sucrosorgo 506	25,8	n. b.	schwach nach Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	Herkules	30,0	grob gehäckselt	schwach nach Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	BMR 201	24,3	n. b.	schwach nach Ester	n. b.	n. b.	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	27,1	n. b.	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	31,3	grob gehäckselt	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	KWS Odin	31,2	n. b.	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	Amiggo (RHS 1092)	31,0	grob gehäckselt	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	Biomasse 150	30,9	grob gehäckselt	Ester	n. b.	n. b.	n. b.
SG, siliert	Niagara 2	23,8	n. b.	schwach nach Ester	n. b.	n. b.	n. b.
	Latte	27,0	Material locker gepackt, kein fester Kern, frisch	Alkohol-Ester	n. b.	n. b.	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 12: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Bernburg (Anbauregion: Löss)

Standort: Bernburg (ST) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung			Biogas- bildungspotenzial Methode: HBT
Frucht-art	Sorte	TS	Geruch	Feuchte	Farbe	Spezifischer Methanertrag
		%				NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
FH, siliert	Sucrosorgo 506	26,1	frisch, säuerlich	nass, kein Sickerwasser	grün-braun	286
	Herkules	30,9	würzig, nach Essig	feucht, kein Sickerwasser	grün	239
	BMR 201	24,7	nach Essig	nass, kein Sickerwasser	braun	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	26,9	intensiv, würzig, nach Essig	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	29,3	nach Essig	n. b.	gelb-braun	268
	KWS Odin	32,8	schimmelig, nach Essig	n. b.	grün-braun	263
	Amiggo (RHS 1092)	32	nach Essig	n. b.	grün-braun	275
	Biomasse 150	30,4	würzig, nach Essig	n. b.	grün	246
SG, siliert	Niagara 2	24,8	würzig, nach Essig	n. b.	grün-braun	n. b.
	Latte	26,7	intensiv, würzig, nach Essig	n. b.	gelb-braun	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 13: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Trossin (Anbauregion: D-Süd)

Standort: Trossin (SN) Anbaujahr 2011			Sensorische Begutachtung				Biogas- bildungspotenzial Methode: HBT
Fruchtart	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe	Spezifischer Methanertrag NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
Mais, siliert	Atletico	32,2	locker gepackt	schimmelig, teigig, nach Essig	nass, kein Sickerwasser	braun-gelb	316
	LG 3216	31,0	n. b.	fruchtig, nach Essig,teigig	nass, kein Sickerwasser	braun-gelb	342
SG, siliert	Lussi	26,0	n. b.	frisch, fruchtig, nach Essig, Alkohol	feucht, kein Sickerwasser	grün	283
	KWS Freya	26,1	n. b.	schwach essigsauer, alkoholisch	feucht, kein Sickerwasser	grün	285
	Nutri Honey	19,9	n. b.	Vergoren	nass, kein Sickerwasser	grün	n. b.
FH, siliert	Sucrosorgo 506	25,0	n. b.	frisch, essigsauer	feucht, kein Sickerwasser	blass gelb	285
	Herkules	40,4	strohig	stechend nach Esther	trocken, kein Sickerwasser	gelb	302
	BMR 201	19,6	n. b.	frisch, angenehm nach Essig	nass, kein Sickerwasser	grün	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	28,7	n. b.	schimmelig	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	33,3	n. b.	schwach, vergoren	trocken, kein Sickerwasser	gelb-grün	300
	KWS Odin	33,3	n. b.	würzig, frisch, nach Essig, Alkohol -> Esther -> arttypisch	trocken, kein Sickerwasser	gelb-grün	293
	Amiggo (RHS 1092)	25,8	n. b.	würzig, frisch, nach Essig, Alkohol (Schnaps) ->Esther -> arttypisch	trocken, kein Sickerwasser	gelb-grün	293
	Biomasse 150	35,1	n. b.	nicht wahrnehmbar	trocken, kein Sickerwasser	gelb	262
SG, siliert	Niagara 2	26,2	n. b.	frisch, nach Essig	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun	n. b.
	Latte	32,0	sehr fein gehäck- selt	schwach, würzig, nach Essig, Alkohol	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	n. b.

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 14: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Friemar (Anbauregion: Löss)

Standort: Friemar (TH) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung			
Fruchtart	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe
FH, siliert	Sucrosorgo 506	21,2	n. b.	schwach nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
	Herkules	24,5	n. b.	säuerlich nach Ester, muffig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün
	BMR 201	22,3	n. b.	Aminosäuren (Proteinabbau), röstig Bakterien wird es zu heiß	nass, kein Sickerwasser	grün-braun (oliv)
SG, siliert	Super Dolce	23,8	Material zu locker gepackt	schwach säuerlich nach Buttersäure	nass, kein Sickerwasser	grün-braun (oliv)
FH, siliert	KWS Zerberus	27,0	n. b.	Aminosäuren (Proteinabbau), röstig Bakterien wird es zu heiß	handfeucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
	KWS Odin	26,7	n. b.	nach Ester, muffig	handfeucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
	Amiggo (RHS 1092)	27,2	n. b.	Säuerlich	handfeucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
	Biomasse 150	24,4	n. b.	Ester, schwach muffig	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb
SG, siliert	Niagara 2	22,2	n. b.	schwach säuerlich nach Buttersäure	nass, kein Sickerwasser	grün-braun
	Latte	20,0	n. b.	stark nach Essigsäure (Gewürzgurken)	feucht, kein Sickerwasser	grün-brau

n. b. = nicht bestimmt

**Anhang 15: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Buttelstedt (Anbau im Kleinlysimeter)**

Standort: Buttelstedt (TH) Anbaujahr: 2011		Sensorische Begutachtung			
Frucht-art	Sorte	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe
Mais, siliert	Atletico	teigreife	schwach nach Ester, stechend	nass, kein Sickerwasser	gelb-braun
	LG 3216	teigreife	Ester	nass, Sickerwasser vorhanden	gelb-braun
SG, siliert	Lussi	n. b.	fruchtig, nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb (dunkel)
	KWS Freya	ohne Mängel	fruchtig, nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun
	Nutri Honey	grobes Material	dezent, fruchtig, nach Ester	nass, Sickerwasser vorhanden	grün-braun
FH, siliert	Sucrosorgo 506	n. b.	dezent, fruchtig, nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun
FH, siliert	KWS Zerberus	ohne Mängel	stechend, nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-braun (dunkel)
	Biomasse 150	n. b.	schwach nach Ester	feucht, kein Sickerwasser	grün-gelb

n. b. = nicht bestimmt

Anhang 16: Silagequalität Anbaujahr 2011, Standort: Straubing (Anbauregion: Löss)

Standort: Straubing (BY) Anbaujahr: 2011			Sensorische Begutachtung				Mikrobiologische Untersuchung								Biogasbildungspotenzial Methode: HBT
Frucht-art	Sorte	TS %	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe	Entero- bakterien	Baziellen	Strepto- myceten	Penicillium	Geotrichum candidum	Hefen	reduzieren- de Gärorganismen	Milchsäure bakterien	Spezifischer Methanertrag NI CH <sub>4</sub> /kgoTS
							KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	KBE/g	
Mais, siliert	Atletico (H-Termin)	37,3	n. b.	schimmelig, nicht arteigen, vergoren	trocken, kein Sickerwasser	n. b.	< 50	< 50	10 Mio.	< 50	2 Mio.	10 Mio.	< 5	80 Mio.	-
	LG 3216 (H-Termin)	37,9	Blätter vertrocknet	hefig	feucht, kein Sickerwasser	gelb-grün	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	-
Mais, siliert	Atletico (M-Termin)	-	Häckselgut grob	hefig	trocken, kein Sickerwasser	gelb	465 Tsd	50 Tsd	< 50	< 50	< 50	265 Tsd	< 5	5,45 Mio.	340
	LG 3216 (M-Termin)	-	Häckselgut grob	schimmelig, schwach säuerlich	feucht, kein Sickerwasser	gelb	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	348
SG, siliert	Lussi	32,9	n. b.	schimmelig	n. b.	n. b.	1250	600	< 50	2000	< 50	65500	< 5	16,1 Mio.	314
FH, siliert	Sucrosorgo 506	25,9	n. b.	säuerlich,	nass, Sickerwasser vorhanden	gelb-grün	3500	< 50	265	10000	100	780000	< 5	50 Mio.	314
	Herkules	28,8	n. b.	stechend, würzig, wenig nach Essig	handfeucht, kein Sickerwasser	grün	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	313
	BMR 201	23,7	n. b.	würzig, arteigen	nass, Sickerwasser vorhanden	gelb-grün	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
SG, siliert	Super Dolce	26,1	n. b.	würzig, wenig nach Essig	nass, Sickerwasser vorhanden	grün	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
FH, siliert	KWS Zerberus	30,2	n. b.	schimmelig	trocken, kein Sickerwasser	gelb	650	550	< 50	100	< 50	775000	< 5	50 Mio.	299
	KWS Odin	30,9	n. b.	stechend, schwach nach Essig	handfeucht, kein Sickerwasser	gelb-braun	900	3250	< 50	1000	< 50	5 Mio.	< 5	80 Mio.	296
	Amiggo (RHS 1092)	39,5	n. b.	würzig, nach Essigsäure	feucht, kein Sickerwasser	gelb	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	267
	Biomasse 150	28,9	n. b.	würzig, schwach nach Essigsäure	feucht, kein Sickerwasser	gelb	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	302
SG, siliert	Niagara 2	22,3	n. b.	würzig, schwach nach Essigsäure	nass, Sickerwasser vorhanden	braun-grün	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
	Latte	25,3	n. b.	schwach nach Essig, gärrig	nass, Sickerwasser vorhanden	braun-grün	57500	4500	11000	30000	< 50	3 Mio.	< 5	80 Mio.	n. b.

n. b. = nicht bestimmt; H-Termin = Maisernte zur Sudangrasernte; M-Termin = Maisernte

(Quelle: Datenerhebung Mikrobiologische Untersuchung Mietke, BfUL)

**Anhang 17: Mittlerer Rohnährstoffgehalt, Methanausbeute und -ertrag Silage Anbaujahr 2012**

Reifegrad Fruchtart Sorte	Standort	Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe									
		Spezifischer Biogasertrag (Methode: HBT) Häckselgut NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag (Methode: HBT) Silage NI CH4 / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag (Methode: WEIßBACH, 2009) Silage NI CH4 / kg oTS	Trockensubstanz . %	Rohasche . % TS	Rohprotein ..% TS	Rohfaser ..% TS	Rohfett ..% TS	Stärke.. % TS	Gesamtzucker . % TS	ELOS . % TS	ADF <sub>om</sub> . % TS	aNDF <sub>om</sub> . % TS	ADL . % TS
Referenzprobe Mais: Atletico	Gülzow (AR: D-Nord)	336	344	334	30,6	4,53	8,86	21,0	3,12	25,8	n. b.	70,3	n. b.	43,8	n. b.
	Welzow (AR: Kippe)	339	339	298		5,28	6,15	28,8	1,99	17,5	n. b.	53,3	n. b.	63,5	n. b.
	Trossin (AR: D-Süd)	304	334	313	34,0	5,18	9,40	25,5	1,66	15,5	n. b.	56,2	n. b.	55,8	n. b.
	Straubing (AR: Löß)	315	349	330	30,0	5,03	8,17	21,3	3,04	33,6	n. b.	71,2	n. b.	43,0	n. b.
Reifegrad: früh Sudangrashybrid: Lussi	Gülzow (AR: D-Nord)	289	315	279	34,7	4,52	10,3	33,5	1,96	n. b.	2,56	47,6	33,8	63,1	9,91
	Welzow (AR: Kippe)	308	319	251	36,9	5,75	6,25	38,0	1,73	n. b.	< 0,1	36,9	41,9	70,0	8,84
	Trossin (AR: D-Süd)	246	298	272	36,8	5,47	10,0	34,2	1,88	n. b.	< 0,1	42,0	36,6	68,4	10,9
	Straubing (AR: Löß)	246	285	273	29,2	6,84	9,80	32,8	2,11	n. b.	< 0,1	42,0	38,0	63,7	11,0
Reifegrad: früh Körnerhirse: Farmsugro	Gülzow (AR: D-Nord)	292	326	305	26,9	5,94	14,2	26,5	2,66	n. b.	1,11	60,3	27,6	51,6	10,9
	Welzow (AR: Kippe)	322	330	290	31,1	6,47	9,04	29,5	2,21	n. b.	1,95	53,7	30,3	55,2	9,00
	Trossin (AR: D-Süd)	307 (spät)	318	312	32,7	5,87	12,3	25,1	2,63	n. b.	0,93	61,6	24,9	50,4	10,3
	Straubing (AR: Löß)	296 (spät)	318	278	19,9	7,52	12,5	31,2	2,37	n. b.	< 0,1	47,9	32,0	59,1	10,7
Reifegrad: spät Futterhirse: Sucrosorgo	Gülzow (AR: D-Nord)	317	307	258	22,5	5,73	7,67	36,7	1,48	n. b.	2,02	42,9	38,9	67,7	8,67
	Welzow (AR: Kippe)	314	297	274	26,1	5,33	11,9	33,8	1,91	n. b.	1,81	51,8	32,0	61,3	10,0
	Trossin(AR: D-Süd)	306	298	274	23,6	5,84	10,3	33,4	1,70	n. b.	4,06	48,4	33,5	64,4	8,80
	Straubing (AR: Löß)	273	268	253	23,8	7,62	12,9	36,1	2,22	n. b.	< 0,1	51,0	30,3	56,3	12,1

n. b. = nicht bestimmt; AR = Anbauregion

### Anhang 18: Spezifischer Methanertrag (NI CH<sub>4</sub> /kg oTS) in der Maissilage

Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Gülzow	Poppenburg	Güterfelde	Drößig	Welzow	Bernburg	Gadegast	Trossin	Friemar	Dornburg	Buttelstedt	Straubing
Mais	Atletico	2011	347	n. b.	n. b.	344	n. b.	n. b.	n. b.	316	n. b.	n. b.	n. b.	340
		2012	344	368	n. b.	n. b.	339	347	353	334	339	365	n. b.	349
	LG 3216	2011	334	339	n. b.	353	n. b.	n. b.	n. b.	342	n. b.	n. b.	n. b.	348
		2012	345	362	n. b.	n. b.	347	330	345	325	355	375	362	348

Methode: Hohenheimer Biogasertragstest

#### Streuung der Messwerte im Mittel für die Referenzpflanze Mais:

Max-Wert	347	368	0	353	347	347	353	316	355	375		349
Min-Wert	334	339	0	344	339	330	345	342	339	365		340
<b>Mittelwert</b>	<b>342</b>	<b>356</b>	<b>0</b>	<b>349</b>	<b>343</b>	<b>338</b>	<b>349</b>	<b>349</b>	<b>347</b>	<b>370</b>	<b>362</b>	<b>346</b>
<b>Gesamt-Mittelwert</b>	<b>348</b>											

### Anhang 19: Spezifischer Methanertrag (NI CH<sub>4</sub> /kg oTS) in der Sudangrashybridsilage

Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Gülzow	Poppenburg	Güterfelde	Drößig	Welzow	Bernburg	Gadegast	Trossin	Friemar	Dornburg	Buttelstedt	Straubing
Sudan-grashybrid	Lussi	2011	305	n. b.	n. b.	294	n. b.	n. b.	263	283	n. b.	317	n. b.	314
		2012	315	307	n. b.	n. b.	319	293	306	298	301	296	n. b.	285
	KWS Freya	2011	301	n. b.	n. b.	283	n. b.	n. b.	n. b.	285	n. b.	317	n. b.	n. b.
		2012	326	259	n. b.	n. b.	n. b.	294	299	278	304	n. b.	297	264
	KWS Sole	2012	326	327	n. b.	n. b.	304	290	n. b.	309	n. b.	n. b.	306	312

Methode: Hohenheimer Biogasertagstest

#### Streuung der Messwerte im Mittel für die Alternativpflanze Sudangrashybrid (Reifegrad: früh):

Max-Wert	301	327	0	294	319	294	306	278	304	317	306	314
Min-Wert	326	259	0	283	304	290	263	309	301	296	297	264
<b>Mittelwert</b>	<b>314</b>	<b>298</b>	<b>0</b>	<b>289</b>	<b>312</b>	<b>292</b>	<b>289</b>	<b>291</b>	<b>303</b>	<b>310</b>	<b>302</b>	<b>294</b>
<b>Gesamt-Mittelwert</b>	<b>300</b>											

## Anhang 20: Spezifischer Methanertrag (NI CH<sub>4</sub> /kg oTS) in der Futterhirsesilage

Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Gülzow	Poppenburg	Güterfelde	Dröbzig	Welzow	Bernburg	Gadegast	Trossin	Friemar	Dornburg	Buttelstedt	Straubing
Futterhirse	Sucrosorgo 506	2011	311	n. b.	296	293	319	286	n. b.	285	n. b.	280	n. b.	314
		2012	307	253	n. b.	n. b.	n. b.	269	n. b.	298	n. b.	284	299	268
	Herkules	2011	319	n. b.	290	293	307	239	n. b.	302	n. b.	308	n. b.	313
		2012	310	324	n. b.	n. b.	323	291	335	313	333	333	313	311
	KWS Zerberus	2011	323	n. b.	272	286	294	268	n. b.	300	n. b.	320	n. b.	299
		2012	312	279	n. b.	n. b.	311	261	n. b.	316	n. b.	327	n. b.	316
	Amiggo	2011	303	n. b.	n. b.	283	308	275	n. b.	293	n. b.	258	n. b.	267
		2012	293	255	n. b.	n. b.	n. b.	278	n. b.	257	n. b.	191	n. b.	314
	KWS Odin	2011	273	n. b.	296	296	316	263	n. b.	293	n. b.	276	n. b.	296
	Biomasse 150	2011	260	n. b.	282	303	314	246	n. b.	262	n. b.	272	n. b.	302
	KWS Tarzan	2012	333	320	n. b.	n. b.	309	293	317	321	317	311	n. b.	311

Methode: Hohenheimer Biogasertragstest

### Streuung der Messwerte im Mittel für die Alternativpflanze Futterhirse (Reifegrad: spät):

Max-Wert	333	324	296	303	323	293	335	321	333	333	313	316
Min-Wert	260	253	272	283	294	239	317	257	317	191	299	267
Mittelwert	304	286	287	292	311	270	326	294	326	287	306	301
Gesamt-Mittelwert	300											

## Anhang 21: Spezifischer Methanertrag (NI CH<sub>4</sub> /kg oTS) in der Körnerhirsesilage

Fruchtart	Sorte	Erntejahr	Gülzow	Poppenburg	Güterfelde	Dröbzig	Welzow	Bernburg	Gadegast	Trossin	Friemar	Dornburg	Buttelstedt	Straubing
Körnerhirse	Farmsugro 180	2012	326	298	n. b.	n. b.	330	299	n. b.	318	n. b.	327	n. b.	318

Methode: Hohenheimer Biogasertagstest

Messwerte für die Alternativpflanze Körnerhirse (Reifegrad: spät):

Mittelwert	326	298	n. b.	n. b.	330	299	n. b.	318	n. b.	327	n. b.	318
Gesamt	316											

**Anhang 22: Rohnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2012, Standort: Trossin**

Sorte Erntetermin (E) BBCH-Stadium	Biogasbildungspotenzial						Trocken- substanz %	Rohnährstoffe						
	Spezifischer Biogasertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Methangehalt <sup>1</sup> % Vol.	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>		Roh- asche % TS	Roh- faser % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	<sup>a</sup> NDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_2 (E:15.08.2012) BBCH-Stadium: 61	460	265	58	529	278	661	36,0	4,49	33,8	9,04	40,6	38,3	64,5	5,05
Lussi_3 (E:27.08.2012) BBCH-Stadium: 73	458	264	58	547	287	684	34,0	4,00	32,3	11,4	42,8	37,3	63,1	6,32
Lussi_E (E:07.09.2012) BBCH-Stadium:	-	246	-	472	248	590	36,8	5,13	39,1	3,64	43,5	43,0	75,2	8,78
Zerberus_2 (E:15.08.2012) BBCH-Stadium: 37	524	295	57	580	304	725	23,7	5,13	27,5	11,8	49,5	33,5	57,9	4,04
Zerberus_3 (E:27.08.2012) BBCH-Stadium: 39	513	285	56	578	303	722	24,9	5,78	27,1	14,7	51,2	33,1	56,9	4,79
Zerberus_4 (E:07.09.2012) BBCH-Stadium: 55	520	293	57	580	304	725	26,4	3,77	28,8	15,3	49,5	33,5	59,6	4,84
Zerberus_5 (E:17.09.2012) BBCH-Stadium: 59	496	284	58	562	295	703	29,0	4,63	30,0	15,4	48,7	33,5	60,1	5,32
Atletico (Mais) (E:05.09.2012)	549	304	56	576	302	720	34,0	6,02	27,1	3,93	59,4	31,2	54,1	3,15

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEIßBACH (2009)

(Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 23: Rohrnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2013, Standort: Trossin**

Sorte Erntetermin (E) BBCH-Stadium	Biogasbildungspotenzial						Trocken- substanz %	Rohnährstoffe						
	Spezifischer Biogasertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Methangehalt <sup>1</sup> % Vol.	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>		Roh- asche % TS	Roh- faser % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	<sup>a</sup> NDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_1 (E:14.08.2013) BBCH-Stadium: 59	529	304	58	556	292	695	19,8	4,66	30,7	8,89	48,1	30,8	63,5	2,85
Lussi_2 (E:30.08.2013) BBCH-Stadium: 65	510	296	58	543	285	679	29,3	3,22	33,4	11,5	44,9	32,7	64,5	3,81
Lussi_3 (E:06.09.2013) BBCH-Stadium: 65	479	282	59	568	298	709	34,1	2,67	33,3	11,2	43,6	33,8	65,9	4,68
Zerberus_1 (E:14.08.2013) BBCH-Stadium: 34	587	327	56	592	311	740	14,8	6,00	25,2	10,7	57,6	24,1	55,3	0,39
Zerberus_2 (E:30.08.2013) BBCH-Stadium: 39	581	325	56	579	304	724	21,0	4,83	27,9	13,5	54,6	27,6	58,1	2,15
Zerberus_3 (E:06.09.2013) BBCH-Stadium: 39	559	310	56	583	306	729	23,8	4,16	28,0	14,4	54,5	28,7	58,8	2,31
Zerberus_5 (E:19.09.2013) BBCH-Stadium: 51	533	298	56	579	304	724	24,9	3,77	28,9	16,8	53,3	27,6	57,7	2,84
Atletico (Mais) (E:... 2013)		340					31,8							

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009)

(Quelle: Datenerhebung Rohrnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 24: Rohrnährstoffgehalte und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2012, Standort: Straubing**

Sorte Erntetermin (E) BBCH-Stadium	Biogasbildungspotenzial						Trocken- substanz %	Rohnährstoffe						
	Spezifischer Biogasertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Methangehalt <sup>1</sup> % Vol.	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>		Roh- asche % TS	Roh- faser % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	<sup>a</sup> NDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_2 (E:20.08.2012) BBCH-Stadium: 69	406	241	59	498	261	622	33,8	5,68	36,1	4,26	32,9	42,0	69,2	6,53
Lussi_3 (E:30.08.2012) BBCH-Stadium: 79	407	244	60	512	269	639	31,5	5,38	34,9	4,60	33,7	41,6	68,5	6,67
Lussi_E (E:.....2012) BBCH-Stadium: 65	-	246	-	503	264	629	29,2	5,83	35,4	3,25	38,3	42,2	72,8	8,13
Zerberus_2 (E:20.08.2012) BBCH-Stadium: 45	432	257	59	469	246	587	22,2	7,50	37,2	1,18	35,8	41,2	67,9	5,48
Zerberus_3 (E:30.08.2012) BBCH-Stadium: 65	455	265	58	522	274	652	26,5	5,66	33,6	8,82	38,2	39,1	65,7	5,90
Zerberus_4 (E:07.09.2012) BBCH-Stadium: 75	456	264	58	525	275	656	27,3	5,05	33,8	12,3	39,3	38,4	64,4	6,11
Zerberus_5 (E:14.09.2012) BBCH-Stadium: 75	467	273	59	538	283	673	29,5	4,84	32,5	14,8	41,3	37,8	62,0	6,10
Atletico (Mais) (E:04./5.09.2012)	549	314	56	635	333	793	30,0	5,70	19,8	4,47	68,1	25,1	44,6	2,30

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009)

(Quelle: Datenerhebung Rohrnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 25: Rohrnährstoffgehalt und Biogasertrag Zwischenschnitte Anbaujahr 2013, Standort: Straubing**

Sorte Erntetermin (E) BBCH-Stadium	Biogasbildungspotenzial						Trocken- substanz %	Rohnährstoffe						
	Spezifischer Biogasertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Methangehalt <sup>1</sup> % Vol.	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>		Roh- asche % TS	Roh- faser % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	<sup>a</sup> NDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_0 (E:14.08.2013) BBCH-Stadium: 59	530	303	58	498	261	622	24,5	5,68	36,1	4,26	32,9	42,0	69,2	6,53
Lussi_1 (E:05.09.2013) BBCH-Stadium: 75	484	280	58	512	349	639	36,2	5,38	34,9	4,60	33,7	41,6	68,5	6,67
Lussi_2 (E:17.09.2013) BBCH-Stadium: 79	471	277 (279)	59	512	349	639	36,5	5,38	34,9	4,60	33,7	41,6	68,5	6,67
Zerberus_0 (E:14.08.2013) BBCH-Stadium: 37	553	311	57	469	246	587	17,2	7,50	37,5	1,18	35,8	41,2	67,9	5,48
Zerberus_1 (E:05.09.2013) BBCH-Stadium: 69	518	301	56	522	274	652	26,0	5,66	33,8	8,82	38,2	39,1	65,7	5,90
Zerberus_2 (E:17.09.2013) BBCH-Stadium: 73	515	292	57	525	275	656	28,6	5,05	33,8	12,3	39,3	38,4	64,4	6,11
Atletico (Mais) (E:... 2013)		333					39,6							

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009)

(Quelle: Datenerhebung Rohrnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Anhang 26: Rohnährstoffgehalte und Biogasertrag Sudanhybridsorte Lussi (Saatzeitenversuch) AJ 2012, Straubing**

Sorte Aussaattermin (A)	Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe										
	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>	Trocken- substanz %	Roh- asche % TS	Roh- protein % TS	Roh- faser % TS	Roh- fett % TS	Stärke % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	aNDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_1 (A:30.04.2012)	237	272	517	647	34,0	5,78	7,71	34,0	0,87	n. b.	3,75	35,3	39,7	69,0	7,24
Lussi_2 (A:15.05.2012)	251	278	530	663	35,0	5,01	7,11	33,2	1,11	n. b.	4,50	36,2	37,6	65,2	6,61
Lussi_3 (A:31.05.2012)	262	280	533	667	33,0	4,75	7,29	33,1	1,09	n. b.	8,26	37,1	36,1	63,2	6,17
Lussi_4 (A:18.06.2012)	267	285	544	680	30,0	5,51	9,25	31,3	1,08	n. b.	11,5	41,2	33,3	59,3	4,85
Ronaldinio_1 (A:30.04.2012)	325	336	641	801	37,0	4,77	5,95	20,0	2,38	21,9	5,66	58,2	26,0	42,5	2,37
Ronaldinio_2 (A:15.05.2012)	354	350	667	834	37,0	4,69	6,53	16,2	3,74	25,6	4,96	63,0	21,9	37,3	1,35
Salgado_3 (A:31.05.2012)	342	356	678	847	35,0	4,14	6,62	15,2	3,45	30,7	4,65	65,3	20,4	35,1	1,39
Salgado_4 (A:18.06.2012)	338	350	666	833	30,0	4,77	6,62	16,2	2,40	26,7	5,98	63,5	20,4	35,6	1,80

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest vom 14. April bis 19. Mai 2015; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009)

(Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

### Anhang 27: Rohnährstoffe und Biogasertrag Sudanhybridsorte Lussi (Düngungsversuch) AJ 2012, Straubing

Sorte Düngungsstufe (D)	Biogasbildungspotenzial				Trocken- substanz %	Rohnährstoffe <sup>3</sup>								
	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>		Roh- asche % TS	Roh- protein % TS	Roh- faser % TS	Roh- fett % TS	Gesamt- zucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	aNDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Lussi_1 (D: 0 kgN/ha)	293	270	514	643	27	6,79	5,78	33,4	1,12	11,0	41,2	35,0	59,2	4,82
Lussi_2 (D: 100 kgN/ha)	262	270	515	643	-	5,70	6,93	34,3	1,00	11,7	39,2	36,1	62,0	6,36
Lussi_3 (D: 150 kg N/ha)	254	268	511	638	30	5,86	7,56	34,6	1,03	12,0	38,8	36,4	62,7	6,98
Lussi_4 (D: 200 kgN/ha)	253	272	519	649	29	5,89	8,23	33,7	1,01	11,5	41,0	35,8	61,8	6,52
Lussi_5 (D: 250 kgN/ha)	257	275	525	656	29	5,29	8,02	33,6	0,99	12,4	41,0	35,2	61,3	6,66

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest vom 4. März bis 8. April 2015; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009); <sup>3</sup>Methode: Nahinfrarotspektroskopie vom 16. April 2015

(Quelle: Datenerhebung Rohnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

### Anhang 28: Rohproteingehalt Sudangrasyhybridsorte Lussi (Düngungsversuch) Anbaujahr 2012, Straubing

Sorte Düngungsstufe (D)	TS % FM	RP % TS	Nitrat % TS	Stickstoff nach MULDER % TS
Lussi_1 (D: 0 kgN/ha)	27	5,14	0,04	0,77
Lussi_2 (D: 100 kgN/ha)	-	6,82	0,12	1,02
Lussi_3 (D: 150 kg N/ha)	30	7,28	0,22	1,09
Lussi_4 (D: 200 kgN/ha)	29	8,48	0,46	1,27
Lussi_5 (D: 250 kgN/ha)	29	8,52	0,44	1,28

Methode: NIRS

(Quelle: Datenerhebung D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

## Anhang 29: Substratqualität Silage der Biogasanlage Rackwitz

Silage	Gesamtgewicht g	TS %	pH-Wert	Sensorische Begutachtung				
				Schimmelbefall	Zustand (allgemein)	Geruch	Feuchte	Farbe
Mais	773,5	32,4	3,84	kein	ohne Mängel, frisch, gut gehäckselt	arteigen-frisch, Essigsäure, leicht nach Alkohol	feucht, kein Sickerwasser	arteigen, gelb
Sorghum	646,8	23,3	4,13	kein	frisch, ohne Mängel, gut gehäckselt	arteigen-frisch, Essigsäure, leicht nach Alkohol	nass, kein Sickerwasser	arteigen, grün-olive
Luzerne (Anwelksilage)	782,0	31,3	4,00	kein	frisch, ohne Mängel,	arteigen-frisch, Essigsäure, Tendenz leicht nach Butter-säure	nass, kein Sickerwasser	arteigen, grün

(Quelle: Datenerhebung am 12. Februar 2015)

## Anhang 30: Rohrnährstoffe, Methanausbeute und -ertrag Silage der Biogasanlage Rackwitz

Silage	Biogasbildungspotenzial				Rohnährstoffe <sup>3</sup>										
	Spezifischer Methanertrag <sup>1</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Methanertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	Spezifischer Biogasertrag <sup>2</sup> NI CH <sub>4</sub> / kg oTS	FoTS <sup>2</sup>	Trockensubstanz %	Rohasche % TS	Rohprotein % TS	Rohfaser % TS	Rohfett % TS	Stärke % TS	Gesamtzucker % TS	ELOS % TS	ADF <sub>om</sub> % TS	aNDF <sub>om</sub> % TS	ADL % TS
Mais	346* 307**	337	642	802	32,4	4,01	7,57	20,7	3,45	30,5	n. b.	67,5	n. b.	42,9	n. b.
Sorghum	270* 223**	244	465	581	23,3	7,68	13,0	37,8	2,41	n. b.	< 1,0	34,8	40,4	69,1	13,0
Luzerne (Anwelksilage)	320* n. b.**	272	518	648	31,3	10,6	15,5	29,6	3,28	n. b.	2,35	63,4	29,6	37,7	4,59
Gemisch	318* 259**	316	602	753	30,0	4,84***	10,8***	25,0***	3,11***	n. b.	< 1,0***	68,4***	27,5***	45,8***	3,41***

<sup>1</sup>Methode: Hohenheimer Biogasertragstest vom 3. März bis 7. April 2015; <sup>2</sup>Methode: Mathematischer Ansatz nach WEISSBACH (2009); <sup>3</sup>Methode: Nahinfrarotspektroskopie vom 15. April 2015; \*Probe getrocknet; \*\* Probe ungetrocknet und auf 400 mg Einwaage umgerechnet; \*\*\*Ergebnisse unter Vorbehalt, Gemisch besteht aus Mais-Sorghum-Luzerne wie es in der BA Rackwitz eingesetzt wird(Quelle: Datenerhebung Rohrnährstoffe D. KRIEG, BfUL; Datenerhebung Trockensubstanz Projektpartner)

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: +49 351 2612-0  
Telefax: +49 351 2612-1099  
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de  
www.smul.sachsen.de/lfulg

**Autoren:**

Dr. Kerstin Jäkel  
LfULG, Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau  
Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen  
Karen Pöttschke  
BioChem agrar GmbH  
Kupferstr. 6, 04827 Machern OT Gerichshain

**Mitarbeit:**

Markus Theiß  
LfULG, Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau

**Redaktion:**

Dr. Kerstin Jäkel  
LfULG, Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau  
Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen  
Telefon: +49 35242 631-7204  
Telefax: +49 35242 631-7299  
E-Mail: Kerstin.Jaekel@smul.sachsen.de

**Redaktionsschluss:**

30.11.2015

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.