

## „Versuch einer Vergärung von zukunftsfähiger Substrate im Minifermenter“

### Sonderbetrachtungen Saarland

#### Teilbericht IV

#### Ecobiogaz

01.05.2012 – 30.06.2015

Gefördert von



Ministerium für  
Umwelt und  
Verbraucherschutz  
**SAARLAND**



Auftragnehmer:

**IZES gGmbH**  
Institut für ZukunftsEnergieSysteme  
Altenkesseler Str. 17  
66115 Saarbrücken  
Tel.: +49-(0)681-9762-840  
Fax: +49-(0)681-9762-850  
[baur@izes.de](mailto:baur@izes.de)

Autoren

Michael Porzig  
Claudia Ziegler  
Katharina Laub  
Bernhard Wern

Unter Verwendung von Analyseergebnissen und Berichten des Prüf- und Forschungsinstituts Pirmasens e.V. (Unterauftragnehmer).

Saarbrücken, den 24.10.2015



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	4
Abbildungsverzeichnis .....	5
1 Hintergrund .....	6
2 Versuchsdurchführung .....	7
2.1 Technische Geräte und methodische Durchführung .....	7
2.2 Fermentationsbedingungen und Fütterung .....	8
3 Untersuchungsergebnisse .....	10
3.1 Chemische Charakterisierung der Einsatzstoffe .....	10
3.2 Gaserträge .....	11
3.3 Prozessbegleitende Analytik .....	14
4 Übertragung der Ergebnisse für die Region Saarland .....	18
5 Fazit .....	22
6 Literaturverzeichnis .....	23
7 Anhänge .....	25
7.1 Analytische Bestimmungsmethoden .....	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Tägliche Fütterungsmengen und Fermentationsparameter der Reaktoren .....	9
Tabelle 3-1: Chemisch-physikalische Charakterisierung Grassilage (unbehandelt) und Szarvasigras .....	10
Tabelle 3-2: Chemisch-physikalische Charakterisierung der Grassilage nach TDH-Behandlung .....	11
Tabelle 3-3: Chemisch-physikalische Charakterisierung der Milchviehgülle Chargen .....	11
Tabelle 3-4: Gesamtgaserträge der Reaktoren (exklusive Anfahrphase) .....	13
Tabelle 3-5: Gaserträge der Reaktoren in der Endphase .....	14
Tabelle 4-1: Anlagenbestand Biogasanlagen Saarland 2013 .....	18
Tabelle 4-2: Substratcharakteristik Saarland (Schätzung 2013/14) .....	19
Tabelle 4-3: Potenzielle Ertragssteigerung Saarland für Substrat Gras .....	19
Tabelle 4-4: Vergleichende Darstellung Szarvasigras und Mais als Biogassubstrate	20
Tabelle 7-1: Bestimmungsmethoden und Prüfmethode	25

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Versuchsaufbau kontinuierlicher Gärtest; Quelle PFI (2015).....	8
Abbildung 3-1: Spezifische Biogas- und Methanproduktion der Reaktoren FC (Grassilage TDH) und FD (Grassilage unbehandelt).....	12
Abbildung 3-2: Spezifische Biogas- und Methanproduktion des Reaktors FF (Szarvasigras) .....	12
Abbildung 3-3: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes und des Glühverlustes über den Versuchsverlauf in den Reaktoren FC und FD .....	15
Abbildung 3-4: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes und des Glühverlustes über den Versuchsverlauf im Reaktor FF .....	15
Abbildung 3-5: Verlauf der flüchtigen organischen Säuren über den Versuchszeitraum in den Reaktoren FC und FD.....	16
Abbildung 3-6: Verlauf der flüchtigen organischen Säuren über den Versuchszeitraum im Reaktor FF .....	16
Abbildung 3-7: Verlauf der H <sub>2</sub> S-Konzentrationen über den Versuchszeitraum in den Reaktoren FC und FD.....	17
Abbildung 3-8: Verlauf der H <sub>2</sub> S-Konzentrationen über den Versuchszeitraum im Reaktor FF.....	17

## 1 Hintergrund

Im Rahmen des Interreg IVA Vorhabens „Ecobiogaz“ wurden in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr und dem Ministerium für Wirtschaft und Wissenschaft des Saarlandes verschiedene Untersuchungsschwerpunkte gesetzt. Der hier vorliegende Bericht bezieht sich auf das Thema „Betrieb einer Biogasversuchsanlage zur Untersuchung von zukunftsfähigen Substraten“, in welchem in der von der IZES gGmbH in Kooperation mit der HTW des Saarlandes betriebenen Versuchsanlage neue Substrate bzw. Substratkombinationen im halbertechnischen Maßstab hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage getestet werden sollten. Es war hierbei angedacht Energiepflanzen, wie die Durchwachsene Silphie oder Szarvasigras (Handelsname „Sarvazi-1“, umgangssprachlich „Riesenweizengras“ oder „Hirschgras“), als Alternative zum Maisanbau zu untersuchen. Weitere Themen war die Untersuchung der Nutzung schwieriger Gräser (u.a. stark verholzt, sehr trocken und stark durchmischt) unter Einsatz von Aufschlusstechniken wie der Hydrolysierung. Diese Ertragsuntersuchungen werden durch das Schwerpunktthema 6 „Übertragbarkeit“ flankiert, welches die Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse auf das Saarland beinhaltet. Hierbei sollte insbesondere auf die Potenziale für Ertragserhöhung durch die Hydrolysierung (Hintergrund zur Technologie siehe Ecobiogaz „Teilbericht Nutzung von Landschaftspflegematerial“) schwieriger Landschaftspflegegräser eingegangen werden. Ein weiterer Einsatzpunkt war die Anwendung von Szarvasigras als Substrat in saarländischen Biogasanlagen als potenzielles Maissubstitut. Dieses Substrat war im Gegensatz zur Durchwachsene Silphie innerhalb der Projektlaufzeit verfügbar und wurde dementsprechend in die Gärversuche integriert. Vergleichbar zur Durchwachsene Silphie wurden hierbei insbesondere der Aspekt der möglichen Kosten- und Mengensubstitution für andere NaWaRos (Gräser und Grassilagen) sowie die Nutzung ertragsschwacher Böden betrachtet.

Auf Grund des im Rahmen der Projektlaufzeit nicht realisierbaren Reparaturbedarfs des Minifermenters wurde auf eine externe Vergabe der Ertragsuntersuchungen an das Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. (PFI) entschieden und diese auch umgesetzt.

## 2 Versuchsdurchführung

Die in diesem Kapitel dargestellte Versuchsdurchführung ist den Prüfberichten „Vergleichender dynamischer Gärtest mit unbehandelter und thermisch aufgeschlossener Grassilage“ und „Dynamischer Gärtest mit Szarvasigras und Rindergülle“ entnommen.

### 2.1 Technische Geräte und methodische Durchführung

Die Durchführung der Untersuchung erfolgte im Rahmen von dynamischen Gärtests mit Grassilage sowie Milchviehgülle als Ko-Substrat. Neben der unbehandelten Grassilage wurde in einem zeitlich-parallelen Gärtest thermisch vorbehandeltes Substrat eingesetzt. Hierzu wurde die Grassilage in einem speziellen Druckreaktor mit Heißdampf für 1 h bei 150 °C und pH 2,5 aufgeschlossen (Thermo-Druck-Hydrolyse - TDH). Ein zweiter dynamischer Gärtest wurde mit Szarvasigras sowie Milchviehgülle als Ko-Substrat durchgeführt.

In allen Tests wurden baugleiche 100 l Durchfluss-Biogasreaktoren (siehe Abbildung 2-1) eingesetzt. Die Lagerung des Untersuchungsmaterials sowie der Gülle erfolgte bis zum Einsatz in den Reaktoren bei 8 °C. Die Reaktoren sind mit zentralen Paddelrührwerken ausgestattet gewesen und über den gesamten Versuchsverlauf wurde eine volle Durchmischung sichergestellt. Die Versuche wurden unter mesophilen Bedingungen bei einer Temperatur von 40 °C durchgeführt. Zum Start der Untersuchung wurden die Reaktoren mit jeweils 75 l Impfschlamm befüllt. Bei dem Impfschlamm handelte es sich um eine Mischung der Milchviehgülle (60 l) sowie aktivem Fermentermaterial aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (15 l). Im Verlauf einer 10-tägigen Anfahrphase (12 Tage beim Gärtest mit Szarvasigras) erfolgte eine kontinuierliche Steigerung der Fütterungsmenge bis die Zielbelastung der Reaktoren erreicht war. Über den Versuchsverlauf erfolgten eine kontinuierliche Überprüfung der relevanten Prozessparameter sowie die Erfassung der täglich produzierten Biogasmenge einschließlich der Gasqualität.

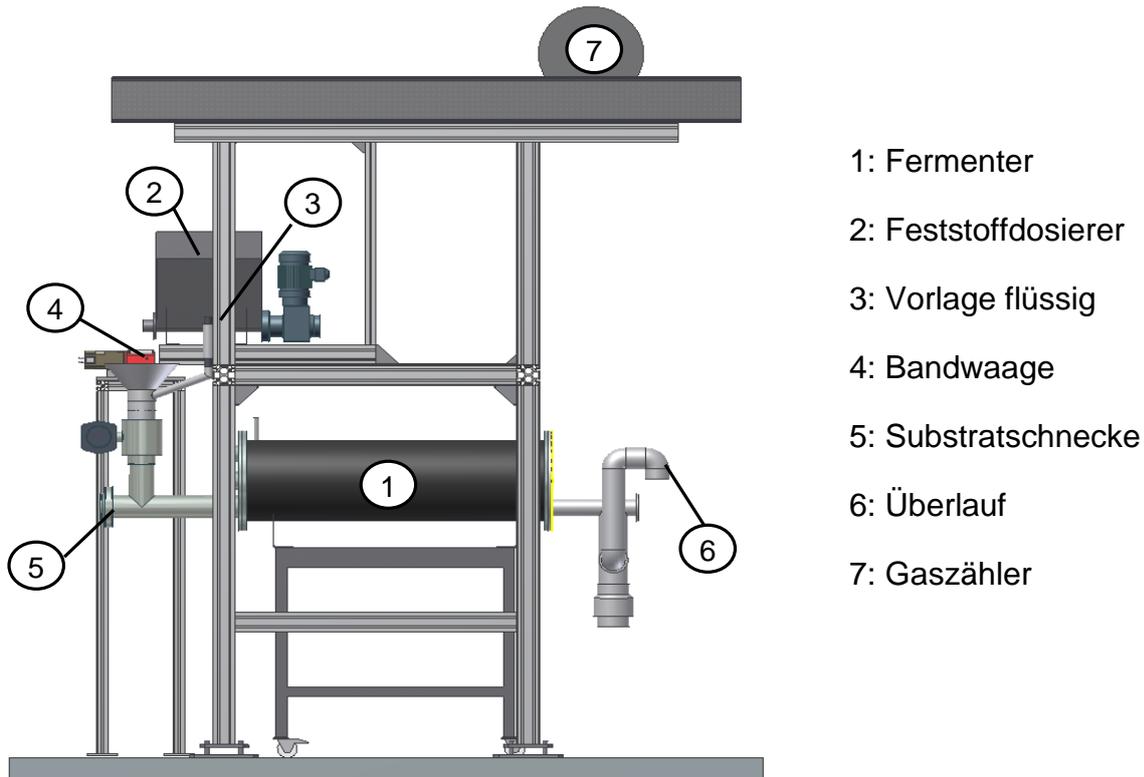


Abbildung 2-1: Versuchsaufbau kontinuierlicher Gärtest; Quelle PFI (2015)

Die im Verlauf des Versuches durchgeführten chemischen Analysen umfassten in Bezug auf die Fermenterflüssigkeit die Bestimmung der flüchtigen organischen Säuren, des pH-Wertes, des Trockensubstanzgehaltes und des Glühverlustes. Die täglich produzierte Gasmenge wurde mit einem Trommelgaszähler erfasst und die Methankonzentration im Biogas mittels Methan-IR-Sensor gemessen. Die Ermittlung der Schwefelwasserstoff-Konzentration im Biogas erfolgte 2x wöchentlich mittels GC-PFPD. Weiterhin erfolgte eine einmalige chemisch-physikalische Charakterisierung des Einsatzsubstrates sowie des Ko-Substrates. Die im Rahmen der Untersuchung eingesetzten Bestimmungsmethoden sind der Tabelle 7-1 im Anhang 7.1 zu entnehmen.

## 2.2 Fermentationsbedingungen und Fütterung

Alle Reaktoren (FC - Grassilage mit TDH, FD - Grassilage unbehandelt. FF – Szarvasigras) wurden nach Abschluss der Anfahrphase für einen Zeitraum von 21 d (22 d im Reaktor FF mit Szarvasigras) mit einer Faulraumbelastung von ca. 2,0 kg oTS/m<sup>3</sup> Fermentervolumen sowie einer hydraulischen Verweilzeit von 60 d betrieben. Da das Substrat nach der TDH-Behandlung einen deutlich höheren Wassergehalt aufwies (siehe Tabelle 2-1) wurde dem Reaktor FD eine äquivalente Menge Frischwasser zugegeben. Die täglichen Fütterungsmengen sowie die resultierenden

Faulraumbelastungen und Verweilzeiten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2-1: Tägliche Fütterungsmengen und Fermentationsparameter der Reaktoren

Parameter	Reaktor FC	Reaktor FD	Reaktor FF	Einheit
Temperatur	40	40	40	°C
Arbeitsvolumen Reaktor	75	75	75	L
Tägliche Substratzufuhr				
- Grassilage unbehandelt		0,25		kg
- Grassilage TDH	0,62			kg
- Szarvasigras			0,3	kg
- Hydrolysat	0,23			L
- Wasser		0,6		L
- Milchviehgülle	0,4	0,4	0,95	L
Faulraumbelastung	2,02	2,04	2,01	kg oTS/m <sup>3</sup>
Hydraulische Verweilzeit	60	60	60	d

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die in diesem Kapitel dargestellte Ergebnisse und Analysen sind den Prüfberichten „Vergleichender dynamischer Gärtest mit unbehandelter und thermisch aufgeschlossener Grassilage“ (Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V., 2015) und „Dynamischer Gärtest mit Szarvasigras und Rindergülle“ (Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V., 2015) entnommen.

#### 3.1 Chemische Charakterisierung der Einsatzstoffe

Die zur Verfügung gestellte Grassilage und das Szarvasigras wurden von Projektpartnern aus dem Saarland zur Verfügung gestellt und werden derzeit in Biogasanlagen als Substrat eingesetzt. Die Substrate sowie die Milchviehgülle wurden vor Versuchsbeginn einmalig hinsichtlich Trockensubstanz, organischer Trockensubstanz, pH-Wert und Säurespektrum analysiert.

Die unbehandelte Grassilage wies einen eher strohartigen Charakter auf, mit einem hohen Trockensubstanzgehalt und relativ geringen Konzentrationen organischer Säuren sowie einem vergleichsweise hohen pH-Wert (siehe Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Chemisch-physikalische Charakterisierung Grassilage (unbehandelt) und Szarvasigras

Parameter	Bestimmungsmethode	Grassilage	Szarvasigras	Einheit
Trockensubstanz	DIN EN 12880	56,56	39,80	%
Glühverlust	DIN EN 12879	93,9	95,7	% TS
Organische Trockensubstanz		53,11	38,09	%
Organische Trockensubstanz*	korrigiert	53,25	38,42	%
Bernsteinsäure	PFI 15/1006	<100	888	mg/kg
Milchsäure	PFI 15/1006	3705	11281	mg/kg
Essigsäure	PFI 15/1006	281	825	mg/kg
Propionsäure	PFI 15/1006	<100	188	mg/kg
Buttersäure	PFI 15/1006	<100	<100	mg/kg
iso-Buttersäure	PFI 15/1006	<100	<100	mg/kg
Valeriansäure	PFI 15/1006	<100	<100	mg/kg
iso-Valeriansäure	PFI 15/1006	<100	<100	mg/kg
Ethanol	PFI 15/1006	1159	2246	mg/kg
pH-Wert	DIN EN 13037	5,77	4,50	

\* korrigiert um die Gehalte flüchtiger Säuren/Alkohole

Die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Analyse nach der TDH-Behandlung sind der nachfolgenden Tabelle 3-2 zu entnehmen. Durch die Behandlung des Materials bei 150 °C mit Heißdampf entstehen eine Festfraktion mit erhöhtem Wassergehalt (TDH-Gras) sowie eine flüssige Phase mit gelösten Substanzen sowie feineren Partikel und Schwebstoffen (Hydrolysat).

Tabelle 3-2: Chemisch-physikalische Charakterisierung der Grassilage nach TDH-Behandlung

Parameter	Bestimmungsmethode	Ergebnis	Einheit
Trockensubstanz TDH-Gras	DIN EN 12880	20,58	%
Glühverlust TDH-Gras	DIN EN 12879	94,2	% TS
Organische Trockensubstanz TDH-Gras		19,39	%
Trockensubstanz Hydrolysat	DIN EN 12880	6,63	%
Glühverlust Hydrolysat	DIN EN 12879	72,3	% TS
Organische Trockensubstanz Hydrolysat		4,79	%

Die Analyseergebnisse der als Ko-Substrat eingesetzten Milchviehgülle Chargen für die Gärtests mit Grassilagen und Szarvasigras bewegten sich innerhalb der für diese Substratklasse typischen Bandbreite (siehe Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3: Chemisch-physikalische Charakterisierung der Milchviehgülle Chargen

Parameter	Bestimmungsmethode	Reaktor FC und FD	Reaktor FF	Einheit
Trockensubstanz	DIN EN 12880	5,77	4,69	%
Glühverlust	DIN EN 12879	77,7	77,7	% TS
Organische Trockensubstanz		4,48	3,64	%
Organische Trockensubstanz*	korrigiert	4,98	3,75	%
Essigsäure	PFI 15/1016	3234	764	mg/kg
Propionsäure	PFI 15/1016	1225	259	mg/kg
n-Buttersäure	PFI 15/1016	382	<100	mg/kg
iso-Buttersäure	PFI 15/1016	136	<100	mg/kg
n-Valeriansäure	PFI 15/1016	<100	<100	mg/kg
iso-Valeriansäure	PFI 15/1016	171	<100	mg/kg
pH-Wert	DIN EN 12176	7,12	7,66	
Ammonium-Stickstoff	DIN 38406-E 5	1454	2040	mg/kg

\* korrigiert um die Gehalte flüchtiger Säuren/Alkohole

## 3.2 Gaserträge

In den folgenden Grafiken (Abbildung 3-1 für Reaktoren FC und FD sowie Abbildung 3-2 für Reaktor FF) sind die Entwicklung der Gaserträge in den Reaktoren dargestellt. Nach Erreichen der Zielraumbelastung (2,0) wurde über einen Zeitraum von ca. 12-14 Tagen (8 – 10 Tagen im Reaktor FF) ein relativ kontinuierlicher Anstieg der täglichen Gasproduktion beobachtet.

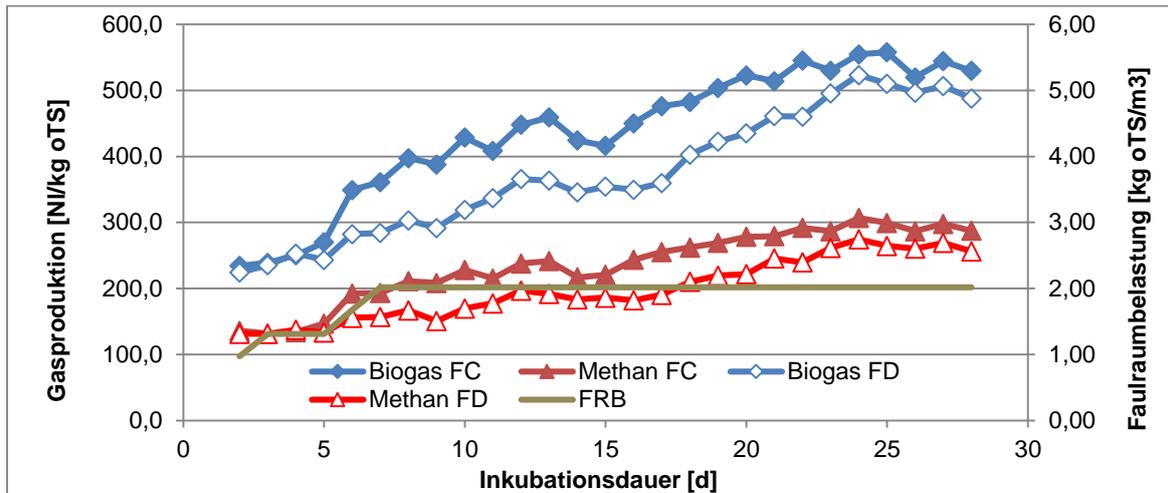


Abbildung 3-1: Spezifische Biogas- und Methanproduktion der Reaktoren FC (Grassilage TDH) und FD (Grassilage unbehandelt).

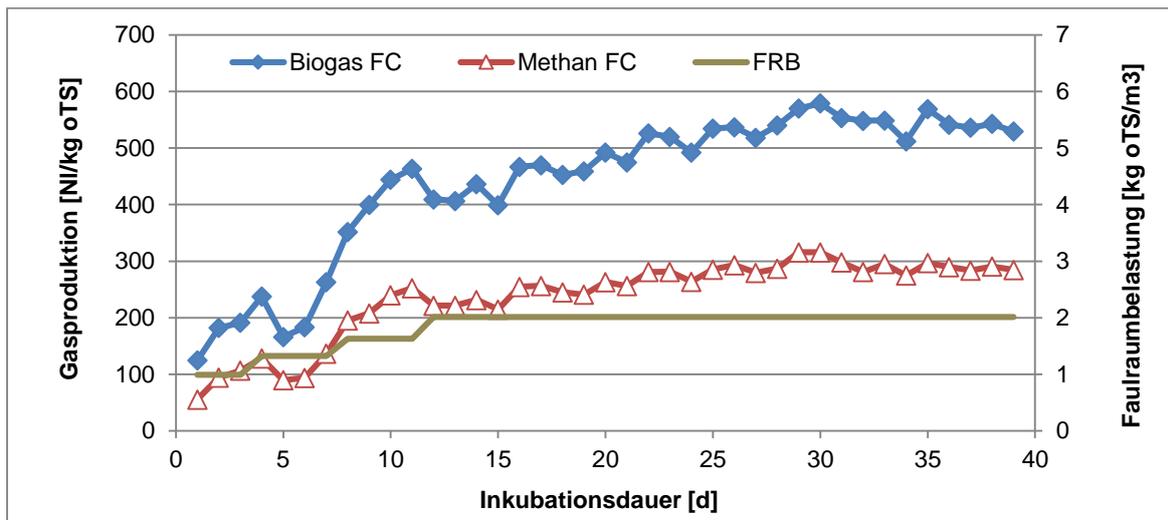


Abbildung 3-2: Spezifische Biogas- und Methanproduktion des Reaktors FF (Szarvasgras)

In Tabelle 3-4 sind die daraus resultierenden substratspezifischen Gaserträge für den finalen Untersuchungszeitraum von 21 Tagen (Reaktoren FC und FD) sowie 27 Tagen (Reaktor FF) dargestellt.

**Tabelle 3-4: Gesamtgaserträge der Reaktoren (exklusive Anfahrphase)**

Parameter	Reaktor FC Grassilage TDH	Reaktor FD Grassilage	Reaktor FF Szarvasigras	Einheit
Untersuchungszeitraum	21	21	27	d
Mittlere Fütterung (Substrat+Impfung+MVG <sup>1</sup> )	1,22	1,22	1,25	kg/d
Mittlerer Methangehalt Biogas	53,6	52,6	53,7	%
Mittlerer CH <sub>4</sub> -Ertrag (Substrat+Impfung+MVG)	258,3 (+/- 32,2)	215,1 (+/- 38,2)	273,4 (+/- 25,7)	NI/kg oTS
Mittlerer CH <sub>4</sub> - Ertrag (Substrat) <sup>2</sup>	223,5 (+/- 42,4) <sup>3</sup>	171,4 (+/- 49,2)	207,6 (+/- 33,6)	NI/kg oTS
Mittlerer CH <sub>4</sub> - Ertrag	Keine Werte	300 <sup>4</sup>	673 <sup>5</sup>	NI/kg oTS
Mittlerer CH <sub>4</sub> -Ertrag Frischmasse-Substrat	34,5 <sup>6</sup>	26,8 <sup>7</sup>	79,7	NI/kg FM

Eine relativ konstante tägliche Gasproduktion in den Reaktoren FC und FD lag in der dritten Woche des Untersuchungszeitraumes vor. Für den Reaktor FF Tag war dies in d 22 bis d 39 der Fall. Die Ergebnisse für diesen Zeitraum (7 Tage in den Reaktoren FC und FD sowie 18 Tage im Reaktor FF) sowie sind in Tabelle 3-5 dargestellt.

<sup>1</sup> Milchviehgülle

<sup>2</sup> Zur Bestimmung des Gasertrages der MVG wurde ein paralleler Reaktor zu den Versuchen FC und FD betrieben und dessen Werte für die Berechnung des Reinertrages des entsprechenden Substrates verwendet. Für die Versuche im Reaktor FF wurden die MVG Versuche auf den oTS der verwendeten MVG (siehe Tabelle 3-3) umgerechnet.

<sup>3</sup> bezogen auf oTS von Substrate + Hydrolysat

<sup>4</sup> Versuchssubstrat besteht zum Großteil aus Landschaftspflegegras (> 50 % TS/kg). Substrateigenschaften wurden dementsprechend den Werten des KTBL Substrates „Landschaftspflegegras/-materialien“ (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2013) zugeordnet

<sup>5</sup> (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2013)

<sup>6</sup> Substrat + Aufschluss (Hydrolysat)

<sup>7</sup> Inklusive zusätzlicher Wasseraufschlag zwecks Einhaltung Fütterung von 1,25 kg/d

Tabelle 3-5: Gaserträge der Reaktoren in der Endphase

Parameter	Reaktor FC Grassilage TDH	Reaktor FD Grassilage	Reaktor FF Szarvasigras	Einheit
<b>Untersuchungszeitraum</b>	7	7	18	d
<b>Mittlere Fütterung (Substrat+Impfung+MVG<sup>1</sup>)</b>	1,22	1,22	1,25	kg/d
<b>Mittlerer Methangehalt Biogas</b>	54,4	52,4	53,6	%
<b>Mittlerer CH<sub>4</sub>-Ertrag (Substrat+Impfung+MVG)</b>	293,9 (+/- 7,2)	260,8 (+/- 10,3)	288,7 (+/- 12,5)	NI/kg oTS
<b>Mittlerer CH<sub>4</sub> Ertrag (Substrat)<sup>2</sup></b>	272,9 (+/- 9,1) <sup>3</sup>	231,5 (+/- 14,8)	227,7 (+/- 16,4)	NI/kg oTS
<b>Mittlerer CH<sub>4</sub> Ertrag Substrat</b>	Keine Werte	300 <sup>4</sup>	673 <sup>5</sup>	NI/kg oTS
<b>Mittlerer CH<sub>4</sub>-Ertrag Frischmasse-Substrat</b>	42,1 <sup>6</sup>	36,3 <sup>7</sup>	87,5	NI/kg FM

In Bezug auf den Betrachtungszeitraum mit stabilen täglichen Gaserträgen lag der Methan-Mehrertrag des Reaktors FC (Grassilage TDH) gegenüber Reaktor FD (Grassilage unbehandelt) bei ca. 8,9% auf oTS<sub>gesamt</sub> und 8,5% auf oTS<sub>Substrat</sub> bezogen.

### 3.3 Prozessbegleitende Analytik

Im Verlauf der dynamischen Gärtests wurden regelmäßig Proben aus den Reaktoren entnommen und auf verschiedene Parameter hin untersucht. Dies umfasste die Konzentrationen der flüchtigen organischen Säuren, die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes (TS) und des Glühverlustes (GV) sowie, in Bezug auf das produzierte Gas, den Gehalt an Schwefelwasserstoff.

<sup>1</sup> Milchviehgülle

<sup>2</sup> Zur Bestimmung des Gasertrages der MVG wurde ein paralleler Reaktor zu den Versuchen FC und FD betrieben und dessen Werte für die Berechnung des Reinertrages des entsprechenden Substrates verwendet. Für die Versuche im Reaktor FF wurden die MVG Versuche auf den oTS der verwendeten MVG (siehe Tabelle 3-3) umgerechnet.

<sup>3</sup> bezogen auf oTS von Substrate + Hydrolysat

<sup>4</sup> Versuchssubstrat besteht zum Großteil aus Landschaftspflegegras (> 50 % TS/kg). Substrateigenschaften wurden dementsprechend den Werten des KTBL Substrates „Landschaftspflegegras/-materialien“ (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2013) zugeordnet

<sup>5</sup> (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2013)

<sup>6</sup> Substrat + Aufschluss (Hydrolysat)

<sup>7</sup> Inklusive zusätzlicher Wasseraufschlag zwecks Einhaltung Fütterung von 1,25 kg/d

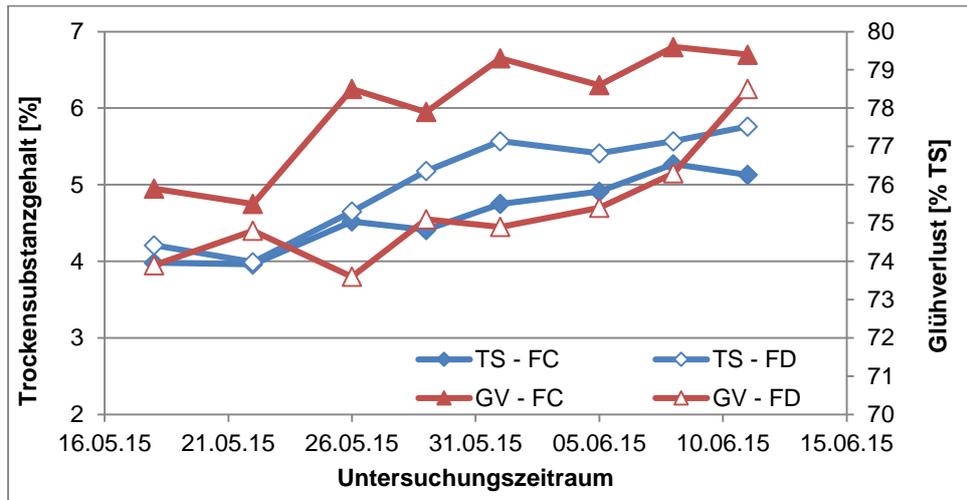


Abbildung 3-3: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes und des Glühverlustes über den Versuchsverlauf in den Reaktoren FC und FD

Innerhalb des Beobachtungszeitraumes zeigten die Reaktoren FC und FD einen Anstieg des Trockensubstanzgehaltes (siehe Abbildung 3-3). Bei Reaktor FC (Grassilage TDH) war der Anstieg von ca. 4 % TS auf 5,1 % weniger stark ausgeprägt als bei Reaktor FD welcher zum Ende des Versuches ca. 5,8 % TS aufwies. Ebenfalls ansteigend war der Glühverlust von ca. 76 % TS auf rund 79 % TS bei Reaktor FC sowie von 74 % auf knapp 79 % TS bei Reaktor FD. Für den Reaktor FF zeigte sich, wie in Abbildung 3-4 dargestellt, innerhalb des Beobachtungszeitraumes ein Anstieg des Trockensubstanzgehaltes von ca. 4 % TS auf 5,1 % Ebenfalls ansteigend war der Glühverlust von ca. 76 % TS auf rund 78 % TS.

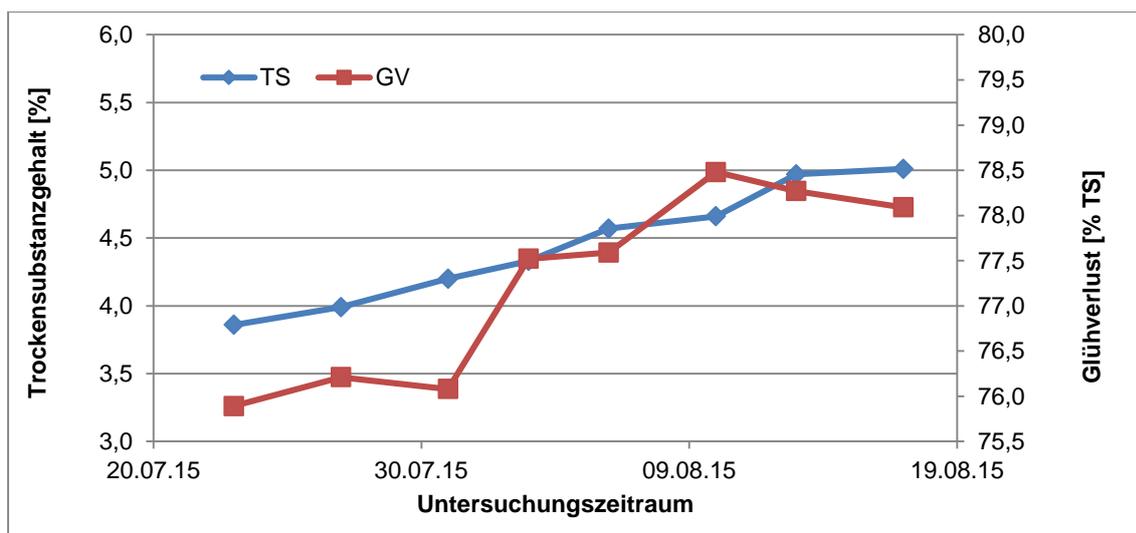


Abbildung 3-4: Entwicklung des Trockensubstanzgehaltes und des Glühverlustes über den Versuchsverlauf im Reaktor FF

Die Konzentrationen der flüchtigen organischen Säuren lagen bei Reaktor FC über den gesamten Untersuchungszeitraum auf einem niedrigen Niveau (siehe Abbildung

3-5). Bei Reaktor FD zeigte sich ein zwischenzeitlicher Anstieg der Essigsäurekonzentration auf ca. 1300 mg/kg, anschließend war die Konzentration wieder rückläufig und lag zum Ende der Untersuchung bei ca. 700 mg/kg.

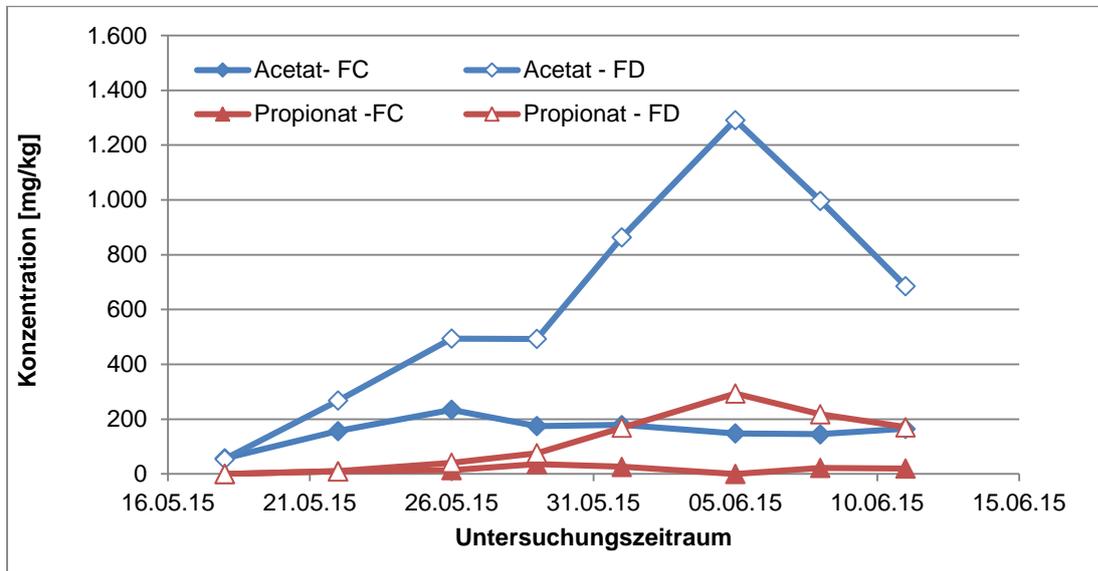


Abbildung 3-5: Verlauf der flüchtigen organischen Säuren über den Versuchszeitraum in den Reaktoren FC und FD.

Im Reaktor FF lagen die Konzentrationen der flüchtigen organischen Säuren über den gesamten Untersuchungszeitraum auf einem niedrigen Niveau (siehe Abbildung 3-6).

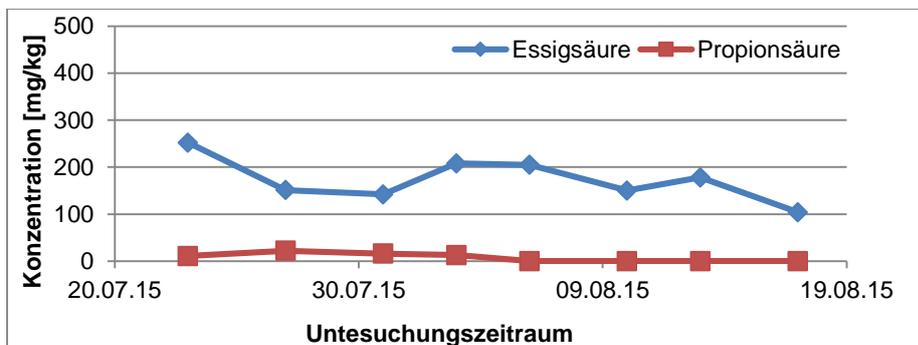


Abbildung 3-6: Verlauf der flüchtigen organischen Säuren über den Versuchszeitraum im Reaktor FF

Neben den Analysen des Fermentersubstrates erfolgte 2x wöchentlich eine gaschromatographische Analyse des produzierten Biogases um die Schwefelwasserstoffemissionen zu ermitteln.

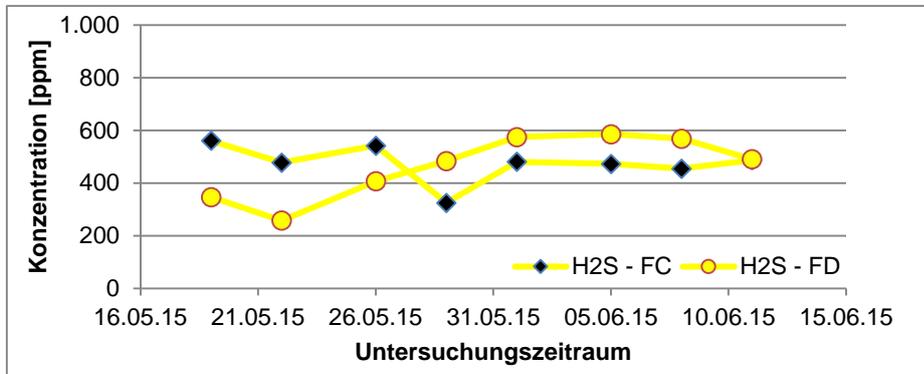


Abbildung 3-7: Verlauf der H<sub>2</sub>S-Konzentrationen über den Versuchszeitraum in den Reaktoren FC und FD

Abbildung 3-7 zeigt den Verlauf der H<sub>2</sub>S-Konzentration der Reaktoren FC und FD über den Untersuchungszeitraum. In Bezug auf die Durchschnittswerte waren zwischen den Reaktoren keine signifikanten Unterschiede feststellbar (475 ppm Reaktor FC zu 465 ppm bei Reaktor FD). Generell zeigten sich allerdings relativ starke Schwankungen über den Untersuchungszeitraum im Bereich zwischen 300 – 600 ppm. Im Reaktor FF

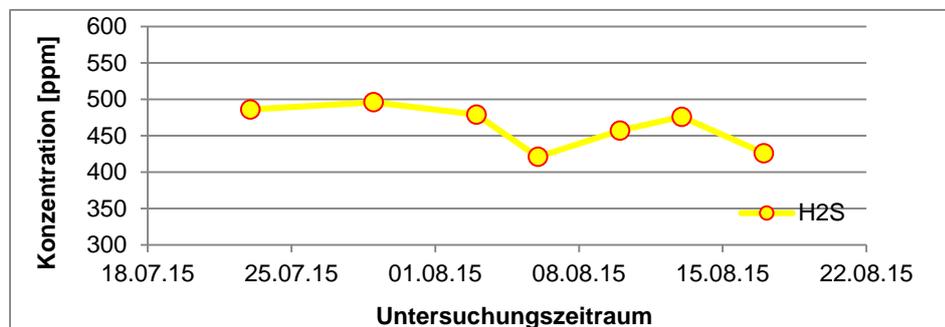


Abbildung 3-8: Verlauf der H<sub>2</sub>S-Konzentrationen über den Versuchszeitraum im Reaktor FF

(siehe Abbildung 3-8) lag der Gehalt an Schwefelwasserstoff im Biogas durchschnittlich bei 463 ppm.

## 4 Übertragung der Ergebnisse für die Region Saarland

Die in den Versuchen erzielten Ergebnisse sind den folgenden Fragethemen zugeordnet im saarländischen Kontext zugeordnet:

1. Welches Potenzial an Ertragssteigerung ist durch TDH für schwierige Gräser zu erwarten? Welche quantitativen und qualitativen Aussagen können getroffen werden?
2. Welches Substitutionspotenzial für Mais kann durch Szarvasigras erreicht werden? Welche quantitativen und qualitativen Aussagen können hierzu getroffen werden?

Basierend auf dem Teilplan Biomasse Saarland sowie Daten von Energymaps.info bzgl. des EEG-Anlagenbestands im Bereich der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung werden im Saarland derzeit ca. 230.000 t FM mit einem Energiegehalt von 180 GWh in 15 Biogasanlagen (siehe Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2) umgesetzt. Hauptsubstrate sind hierbei Milchviehgülle, Mais- und Grassilage.

Tabelle 4-1: Anlagenbestand Biogasanlagen Saarland 2013<sup>1</sup>

KWK Anlagen			Reine Wärme Anlagen			Biomethananlagen		
Anzahl	MW <sub>el</sub>	GWh <sub>el</sub> /a	Anzahl	MW <sub>th</sub>	GWh <sub>th</sub> /a	Anzahl	MW <sub>el</sub>	Mio Nm <sup>3</sup> /a <sup>2</sup>
14	6,4	37,2	0	0	0	1 <sup>3</sup>	2	4,8

In Tabelle 4-2 sind die Substrate die Mengen, Marktpreise für 2015 sowie die geschätzten Jahresumsätze für die Substrate im Saarland dargestellt. Im Bereich der Grassilage ist hierbei für den saarländischen Markt von Mischfraktionen mit Landschaftspflegematerial und entsprechenden geringen Gaserträgen auszugehen.

<sup>1</sup> (Energymap, 2015)

<sup>2</sup> Bei 8700 h/a

<sup>3</sup> (Stadtwerke Merzig GmbH, 2015)

**Tabelle 4-2: Substratcharakteristik Saarland (Schätzung 2013/14)<sup>1</sup>**

Substrat	Mengen Saarland <sup>2</sup> (t FM/a)	Energiegehalt (kWh/a) <sup>3</sup>	Marktpreis (€/t FM)	Umsatz (€/a)
Gras	40.173	37.602.242	24,2 <sup>4</sup>	972.195
Mais	87.597	91.101.280	34,6 <sup>5</sup>	3.030.869
GPS	37.262	36.814.396	36,5 <sup>6</sup>	1.360.046
Getreideschrot	410	1.279.981	145,5 <sup>7</sup>	59.691
Gülle	51.314	7.055.665	4,00 <sup>8</sup>	205.256
Festmist	16.372	7.203.764	5,62 <sup>9</sup>	92.012
<b>Summe</b>	<b>233.129</b>	<b>181.057.327</b>		<b>5.720.069</b>

Wie in den Gärtests für die Grassilage (Mischgräser aus Landschaftspflege) festgestellt, konnte eine Ertragssteigerung von ca. 8,5% bezogen auf den oTS bzw. FM durch TDH abgeleitet werden. Bezogen auf die aktuellen Mengen im Saarland lassen sich folgende Ertragssteigerungen ableiten (siehe Tabelle 4-3). Insgesamt könnten durch die Gasertragssteigerung jährlich ca. 90.000 € an Substratkosten vermieden werden.

**Tabelle 4-3: Potenzielle Ertragssteigerung Saarland für Substrat Gras**

Substrat	Aktuelle Mengen (t FM/a)	Ertragsänderung durch TDH <sup>10</sup> (t FM/a) <sup>11</sup>	Marktpreis (€/t FM)	Wert Ertragssteigerung(€/a)
Gras	40.173 <sup>12</sup>	3.415	24,2 <sup>13</sup>	82.367
Mischgras aus Landschaftspflege	8.500 <sup>14</sup>	723	10,4 <sup>15</sup>	7.518

Das hier aufgezeigte Einsparpotenzial erlaubt entsprechende Flächenreduzierung von ca. 200 ha<sup>16</sup> im Saarland, sofern diese Flächen nicht aus Landschaftspflegegründen bewirtschaftet werden. Die Verwendung von schwierigen Gräsern aus der Landschaftspflege ist auf Grund des geringeren Methanertrags von ca. 50% - 60% im Vergleich zu marktgehandelten Grassilagen mit entsprechenden Mehrmengen verbunden, die von der BGA technisch verarbeitet werden müssen. Die in den Gärtests

<sup>1</sup> Basierend auf (Baur, et al., 2011)

<sup>2</sup> Hochrechnung vom Anlagenbestand 2010 um geplanten Zubau basierend auf (Baur, et al., 2011)

<sup>3</sup> Umrechnung von Daten aus (Baur, et al., 2011)

<sup>4</sup> mittlerer Preis, frei Silo, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>5</sup> mittlerer Preis, frei Silo, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>6</sup> mittlerer Preis, frei Silo, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>7</sup> mittlerer Preis, frei Silo, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>8</sup> mittlerer Preis, frei Eintrag, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>9</sup> mittlerer Preis, frei Eintrag, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>10</sup> Ertragssteigerung durch TDH von 8.5% ist äquivalent für FM und oTS

<sup>11</sup> Bei gleicher Energiemenge

<sup>12</sup> Vgl. Tabelle 4-2

<sup>13</sup> mittlerer Preis, frei Silo, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>14</sup> Menge krautartiger Grünschnitt aus Landschaftspflege im Biosphärenreservat Bliesgau pro Jahr (Kay, et al., 2014)

<sup>15</sup> Marktpreis wurde vereinfacht dem Energiegehalt entsprechend umgerechnet (Landschaftspflegegras/-materialien = 43 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t FM, Grassilage = 100 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t FM) um Vergleichbarkeit darzustellen (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2015).

<sup>16</sup> Ertrag von 17 t FM/ha, (Baur, et al., 2011)

festgestellte Ertragserhöhung von 8,5% durch TDH stellt dementsprechend eine nur geringe Aufwertung gegenüber hochwertigen Anbaugräser dar und muss im Einzelfall geprüft werden. Zusammenfassend sind die spezifischen Mehrkosten durch die TDH Technologie (vgl. Ecobiogaz „Teilbericht Nutzung von Landschaftspflegematerial“), welche dem Einsparpotenzial gegengerecht werden müssen, zu beachten.

Hinsichtlich der Nutzung von Szarvasigras als Alternative zu Mais als Gärsubstrat, zeigt der im Rahmen von Ecobiogaz durchgeführte Versuch für die angewendete Grasprobe mit  $228 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t oTS}^1$  ein um 1/4 geringerer Methanertrag als in anderen Versuchen mit Szarvasigras dargestellt (ca.  $300 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t oTS}^2$ ). In Tabelle 4-4 sind die Gärsubstrate Maissilage und Szarvasigras (Literaturwerte und Versuchswert aus Gärttest) vergleichend dargestellt.

Tabelle 4-4: Vergleichende Darstellung Szarvasigras und Mais als Biogassubstrate

Substrat	Flächenertrag (t TS/ha) <sup>3</sup>	oTS Gehalt (o TS/TS)	CH <sub>4</sub> -Ertrag (Nm <sup>3</sup> /t oTS)	Mittlere Anbaukosten (€/ha)	Gestehungskosten (€/kWh) <sup>4</sup>
Szarvasigras	bis 19,3	95,7%	228 <sup>5</sup> -300 <sup>6</sup>	427 <sup>7</sup> - 538 <sup>8</sup>	0,008 – 0,013
Maissilage	bis 19,3	95% <sup>9</sup>	338	1.086 – 1.185 <sup>10</sup>	0,018 – 0,019

Der, im Vergleich zu Maissilage mit  $338 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t oTS}^{11}$ , geringere Methanertrag von Szarvasigras wird durch die signifikant geringeren Anbaukosten übertroffen. Im Vergleich zum Silomaisanbau sind die verringerten Aufwendungen für die, auf Grund der Mehrjährigkeit der Pflanze (bis 8 Jahre), jährliche Aussaat sowie der geringere Bedarf an Pflanzenschutzmittel und Düngung, mit dem entsprechend geringere Bedarf an Flurüberfahrten, ausschlaggebend.<sup>12</sup>

Des Weiteren ist Szarvasigras für Grenzertragsböden geeignet. Weitere Eigenschaften des Steppengrases und Tiefwurzler (bis 2,5 m) bestehen in der Robustheit gegenüber Trockenperioden und erhöhte Erosionswiderstand an Hanglagen. Dies sind v.a. vor dem Hintergrund des Klimawandels eine vielversprechende Eigenschaften. Durch Nutzung des Grasses könnten weiterhin vorhandene Flächen oder gar Wasserschutzgebiete im Saarland ökologisch sinnvoll

<sup>1</sup> vgl. Tabelle 3-5

<sup>2</sup> (Hartmann, 2014)

<sup>3</sup> (Geißendörfer, 2012)

<sup>4</sup>  $9,97 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ CH}_4$

<sup>5</sup> Siehe Tabelle 3-5

<sup>6</sup> (Hartmann, 2014)

<sup>7</sup> Grassilage, Mittlerer Preis, stehend ab Feld, (Fachverband Biogas e.V., 2014)

<sup>8</sup> 5 Jahre Anbau, ohne Pacht, (screw-press GmbH, 2015)

<sup>9</sup> KTBL Rechner

<sup>10</sup> Beispielrechnung, mit Pacht (Peyker, et al., 2007)

<sup>11</sup> (KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2015)

<sup>12</sup> (screw-press GmbH, 2015)

in Anbauflächen für Biogassubstrate überführt und Maisanbaufläche aus der Produktion herausgenommen werden.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> (Martin, 2013)

## 5 Fazit

Die Werte der Gasertragsversuche für Grassilage aus Landschaftspflegegräsern und Szarvasigras wichen signifikant von den Ertragsprognosen der Literatur ab. Hierbei wurden die Literaturwerte für Gras aus Landschaftspflegematerial über- und für Szarvasigras untertroffen. Dies ist vermutlich auf den geringen Stichprobenumfang und Probemenge (Gesamtfütterung Grassilage von 6,45 kg und Szarvasigras von 10,76 kg) zurückzuführen.

Zusammenfassend ist bei entsprechender Wirtschaftlichkeit der Aufschluss durch TDH zu empfehlen. Die Verringerung des TS Gehaltes und entsprechende „Verflüssigung“ verbessern die technische Verarbeitbarkeit des Substrates. Die Wirkung dieser Technologie auf Szarvasigras sollte zwingend überprüft werden. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht in der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit der TDH Technologie in Bezug auf die untersuchten Substrate. Szarvasigras kann aber bereits unter den aktuellen Marktbedingungen als ernsthafte Konkurrenz zu Mais angesehen werden. Die potenziellen ökologischen und wirtschaftlichen Vorteile gegenüber anderen Substraten wie Mais oder Getreide auf Grund der Mehrjährigkeit und Minderaufwendungen an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, sollten in praxisnahen Feldversuchen quantifiziert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

**Baur, F., et al. 2011.** "Biomasse-Potenzialanalyse für das Saarland" Der Teilplan Biomasse zum Master-Plan neue Energie. Saarbrücken : IZES gGmbH- Institut für Zukunftsenergiesysteme, 2011.

**Energymap. 2015.** Energymap. [Online] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., 2015. [Zitat vom: 17. 10 2015.] <http://www.energymap.info/>.

**Fachverband Biogas e.V. 2014.** Biomassepreise steigen kontinuierlich. *Biogas Journal*. 2014, 03/2014, S. 55.

**Geißendörfer, H. 2012.** Neues Energiepflanzenprojekt gestartet. *Biogas Journal*. 2012, 06-2012.

**Hartmann, Anja. 2014.** Riesenweizengräser - Sortenunterschiede am Standort Straubing. [Online] 2014. [Zitat vom: 19. 10 2015.] [http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/14phm007\\_mb\\_riesenweizengras\\_sortenversuch\\_.pdf](http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/14phm007_mb_riesenweizengras_sortenversuch_.pdf) .

**Kay, S., et al. 2014.** *Masterplan 100% Klimaschutz - Integriertes Klimaschutzkonzept mit Null-Emissions-Strategie für das Biosphärenreservat Bliesgau*. Saarbrücken : IZES gGmbH; Saar-Lor-Lux Umweltzentrum GmbH; ATP Axel Thös Planung, 2014.

**KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 2015.** Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. [Online] KTBL, 2015. [Zitat vom: 18. 10 2015.] <http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do?zustandReq=5&selectedAction=showMona#start>.

**KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 2013.** *Faustzahlen Biogas*. Darmstadt : s.n., 2013. Bd. 3.

**Martin, V. 2013.** Agrarheute. [Online] 27. 07 2013. [Zitat vom: 6. 10 2015.] <http://www.agrarheute.com/news/riesenweizengras-alternative-fuer-biogasanlage>.

**Peyker, W., et al. 2007.** *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Silomais zur Fütterung und Nutzung als Gärsubstrat in Biogasanlagen*. [Online] 2007. [Zitat vom: 21. 10 2015.] <http://www.tll.de/ainfo/pdf/sima0807.pdf>.

**PFI. 2015.** *Dynamischer Gärtest mit Szarvasigras und Rindergülle*. Pirmasens : Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V., 2015. 1505596-01-15-01.

**—.** 2015. *Vergleichender dynamischer Gärtest mit unbehandelter und thermisch aufgeschlossener Grassilage*. Pirmasens : Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V., 2015. 1503852-01-15-01.

**screw-press GmbH. 2015.** Hirschgras. [Online] 2015. [Zitat vom: 20. 10 2015.]  
<http://www.hirschgras.de/hirschgras%20saatgut.html>.

**Stadtwerke Merzig GmbH. 2015.** [Online] 2015. [Zitat vom: 18. 10 2015.]  
<http://www.stadtwerke-merzig.de/pages/umwelt/bio-erdgas.php> .

## 7 Anhänge

### 7.1 Analytische Bestimmungsmethoden

In der nachfolgenden Tabelle 5 sind die im Rahmen der Untersuchung eingesetzten Bestimmungsmethoden zusammengefasst.

Tabelle 7-1: Bestimmungsmethoden und Prüfmethoden

Parameter	Bestimmungsmethode	Einheit
Trockensubstanz	DIN EN 12880	%
Glühverlust	DIN EN 12879	% TS
pH-Wert	DIN EN 12176	
Bernsteinsäure	PFI 15/1006	mg/kg
Milchsäure	PFI 15/1006	mg/kg
Ethanol	PFI 15/1006	mg/kg
Essigsäure	PFI 15/1016	mg/kg
Propionsäure	PFI 15/1016	mg/kg
n-Buttersäure	PFI 15/1016	mg/kg
iso-Buttersäure	PFI 15/1016	mg/kg
n-Valeriansäure	PFI 15/1016	mg/kg
iso-Valeriansäure	PFI 15/1016	mg/kg
Ethanol	PFI 15/1016	mg/kg
Methan	PFI 15/1010	Vol.-% (Gas trocken)
Kohlendioxid	PFI 15/1010	Vol.-% (Gas trocken)
Stickstoff	PFI 15/1010	Vol.-% (Gas trocken)
Sauerstoff	PFI 15/1010	Vol.-% (Gas trocken)
Wasserstoff	PFI 15/1010	ppm
Schwefelwasserstoff	DIN 51855-8	ppm

#### Aufgeführte Prüfmethoden sind Bestandteil der Laborakkreditierung (D-PL-14150-01-00)

Bestimmung der Zusammensetzung von Biogas	PFI 15/1010 (2012-08) für Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff
Bestimmung organischer Säuren mit HPLC	PFI 15/1006 (2013-05)
Bestimmung wasserdampfvlüchtiger organischer Säuren	PFI 15/1016 (2013-10)
Bestimmung des pH-Wertes	DIN EN 12176 (1998-06)
Bestimmung des Trockenrückstandes	DIN EN 12880 (2001-02)
Bestimmung des Glühverlustes	DIN EN 12879 (2001-02)