



Das Lebensmittelministerium



## Gaserträge mykotoxinbelasteter Getreidearten

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 27/2008

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Ermittlung von Gaserträgen mykotoxinbelasteter Getreidearten  
für die Co- und Monovergärung**

Dr. Saskia Wesolowski, Nils Ohly, Erik Ferchau, Gerd Mardaus, Prof. Dr. Dr. Gerd Walter

Dr. Kerstin Jäkel, Uwe Mildner

Doris Krieg, Ursula Klostermann

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung und Versuchsverlauf</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Versuche</b> .....	3
2.1	Rindergülle mit Triticaleschrot.....	3
2.2	Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 1 .....	5
2.3	Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 2 .....	7
2.4	Rindergülle mit Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale .....	9
2.5	Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale .....	11
<b>3</b>	<b>Substratvergleich und zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse</b> .....	12
3.1	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse .....	12
3.2	Batchversuche .....	16
3.3	Konzentration an Mykotoxin in Triticale und im Gärrest.....	16
3.4	Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Substrate.....	17
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	19
<b>5</b>	<b>Anhang</b> .....	20

## **1 Aufgabenstellung und Versuchsverlauf**

Im Rahmen des vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (vormals: Landesanstalt für Landwirtschaft) geförderten Forschungsprojektes „Ermittlung von Gaserträgen mykotoxinbelasteter Getreidearten für die Co- und Monovergärung“ wurden am Standort Freiberg in der vorhandenen Laborbiogasanlage Fermentationsversuche mit verschiedenen landwirtschaftlichen Substraten durchgeführt, um dadurch wissenschaftlich fundierte Aussagen zum Cofermentationsprozess zu gewinnen.

Bei den Versuchen sollte geprüft werden, ob Mykotoxine im Getreide die Gaserträge reduzieren bzw. beeinflussen und ob die Mykotoxinbelastung während der Vergärung abgebaut wird. Das giftige Stoffwechselprodukt von Fusarienpilzen im Getreide ist Mykotoxin. Eine Probe mit fusarienbefallener Triticale wurde vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (vormals Landesanstalt für Landwirtschaft) zur Verfügung gestellt. Im Rahmen dieses Projektes wurden Versuche mit Triticale, mit fusarienbelasteter Triticale und Ganzpflanzensilage (GPS)-Triticale durchgeführt. Bei Versuchen zur Cofermentation diente Rindergülle als Basissubstrat. Neben der kontinuierlichen Vergärung werden die Substrate zusätzlich in einem diskontinuierlichen Verfahren untersucht.

In der Tabelle 1 sind die untersuchten Substrate und der Versuchverlauf aufgeführt.

**Tabelle 1: Überblick über den zeitlichen Versuchsverlauf anhand des Substrateinsatzes (Versuchsdatum, Versuchsnummer, Versuchsdauer, oTS- Mischungsverhältnis, Raumbelastung)**

Versuchs-Zeitraum	Fermenter 2	Fermenter 3	Fermenter 4
ab 19.08. 2005			
ab 25.08. 2005	Ganzpflanzensilage Triticale 39 d RB= 1		Rindergülle mit fusarien- belasteten Triticaleschrot (50/50) 67 d RB= 1
ab 16.09. 2005		Rindergülle mit Tritica- leschrot (50/50) 77 d RB= 1	
bis 03.10. 2005			
ab 04.10. 2005	Rindergülle mit Ganzpflan- zensilage Triticale 91 d RB= 1		
bis 23.10. 2005			
ab 24.10. 2005			Neubefüllung
bis 02.12. 2005			Rindergülle mit fusarien- belasteten Triticaleschrot (50/50) 48 d RB= 1
bis 11.12. 2005			
bis 02.01. 2006			
ab 03.01. 2006	Ganzpflanzensilage Triticale 22 d RB= 0,75		
bis 24.01. 2006			
ab 25.01. 2006			Rindergülle mit Ganz- pflanzensilage Triticale 31 d RB= 4
bis 24.02. 2006			

## 2 Versuche

### 2.1 Rindergülle mit Triticaleschrot

#### Versuchszeitraum:

- ⇒ 16.09. – 02.12.05, 77 Tage
- ⇒ – 77. Versuchstag

#### Betriebsparameter:

- ⇒ quasikontinuierlicher Betrieb
- ⇒ mesophiler Temperaturbereich (36 °C)
- ⇒ Substratzugabe: 1x am Tag
- ⇒ Rührintervall: halbstündlich für 2 Minuten

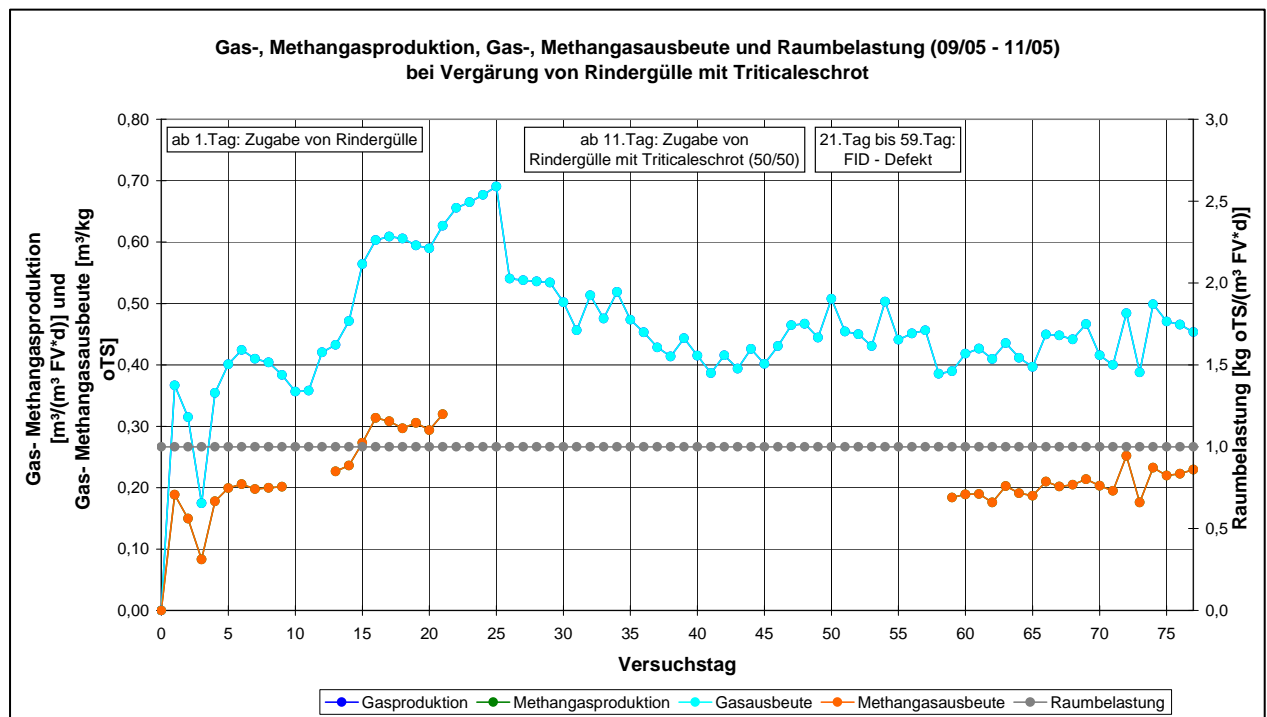


Diagramm 1: Versuch Rindergülle mit Triticaleschrot

Der Versuch wurde mit aktivem Gärmaterial gestartet und Rindergülle aus Clausnitz/Sachsen mit der Raumbelastung von 1 kg<sub>oTS</sub>/m<sup>3</sup>FV\*d zugegeben. Das Diagramm 1 zeigt einen Überblick über den Versuchsverlauf des Versuchs Rindergülle mit Triticaleschrot.

Ab dem 11. Versuchstag wurde mit dem Substrat Triticaleschrot in Covergärung mit Rindergülle in einem Mischungsverhältnis der organischen Trockensubstanz von 50 : 50 begonnen. Das Triticaleschrot war auf mittlerer Stufe geschrotet und enthielt keine Spelzen. Es wurde vom Mischfutterbetrieb Niederbobritzsch/Sachsen bereitgestellt. Ab dem 70. Versuchstag wurde Rindergülle von der Agrargenossenschaft Burknersdorf vom Standort Lichtenberg eingesetzt.

Die absolute Zugabemenge an Triticaleschrot wurde entsprechend der Raumbelastung von 1 kg<sub>oTS</sub>/m<sup>3</sup>FV\*d eingestellt. Der oTS-Gehalt der Zugabe lag bei 3 %. Die theoretische Verweilzeit wurde durch Verdünnen der Gülle

mit Wasser auf 30 Tage eingestellt. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis des Triticaleschrots wurde untersucht und ein C/N-Wert von 28,67 ermittelt.

### Ergebnisse

#### *Gas-, Methangasproduktion und Gas-, Methangasausbeute (vgl. Diagramm 1-1)*

Auf Grund der eingestellten Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  fielen die Kurven der Gasproduktion und der Methangasproduktion auf die der Gas- und Methangasausbeute. Durch Auswertung eines stabilen Bereichs, in dem die Werte nur statistische Schwankungen aufwiesen, können Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,437 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,204 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,437 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,204 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  angegeben werden. Die methanbezogenen Gaswerte konnten aufgrund der Reparatur des FID Messgerätes nicht zwischen dem 21. und 59. Versuchstag ermittelt werden.

#### *pH-Wert (vgl. Diagramm 1-2)*

Die hohen pH- Werte um 7,65 zu Beginn sanken im Versuchsverlauf kontinuierlich auf Werte um 7,15 ab. Am Ende des Versuchs stabilisierte sich der pH-Wert in diesem Bereich.

#### *Methangehalt (vgl. Diagramm 1-2)*

Der Methangehalt betrug im Mittel 47 Vol.-%. Aufgrund der Reparatur des FID Messgerätes konnte der Methangehalt im Biogas nicht zwischen dem 21. und 59. Versuchstag ermittelt werden. Zum Ende des Versuchs war eine ansteigende Tendenz auf Werte oberhalb 50 Vol.-% zu beobachten. Stärkere Schwankungen im Methangehalt des produzierten Biogases traten auf.

#### *Propion- und Essigsäurekonzentration (vgl. Diagramm 1-3)*

Die Konzentration an Propionsäure lag zu Versuchsbeginn mit 5.255 mg/l auf sehr hohem Niveau. Die Konzentration an Essigsäure hingegen lag mit 455 mg/l in einem normalen Bereich. Die Konzentration für Propionsäure stieg nach Zugabe von Triticaleschrot sehr stark auf 19.510 mg/l an. Die Essigsäure stieg dagegen nur leicht auf 1.850 mg/l. Dies ist ein Zeichen für einen kritischen Prozesszustand. Nach SCHMACK sollten für einen stabilen Prozess die Gehalte an freien Fettsäuren unter 1.000 mg/l liegen und das Verhältnis Essig- zu Propionsäure größer als 2 : 1 sein, d.h. die Essigsäurekonzentration sollte mindestens doppelt so hoch sein wie die Konzentration der Propionsäure<sup>1</sup>. Im Laufe der Vergärung konnten die sehr hohen Fettsäurewerte abgebaut werden. Bis zum Versuche wurde unkritische Fettsäuregehalte ermittelt.

#### *Schwefelwasserstoffgehalt (vgl. Diagramm 1-4)*

Der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas ergab nach Zugabe von Triticaleschrot eine ansteigende Tendenz von Werten um 170 auf über 360 ppm. Zum Ende des Versuchs ergaben sich stabil niedrige Werte unter 100 ppm.

---

<sup>1</sup> SCHMACK, D.: Biotechnologie von Vergärungsprozessen, in Tagungsband Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, Gülzower Fachgespräche, Band 15, FNR, Gülzow 2001 (auch s. <http://www.fnr.de/>)

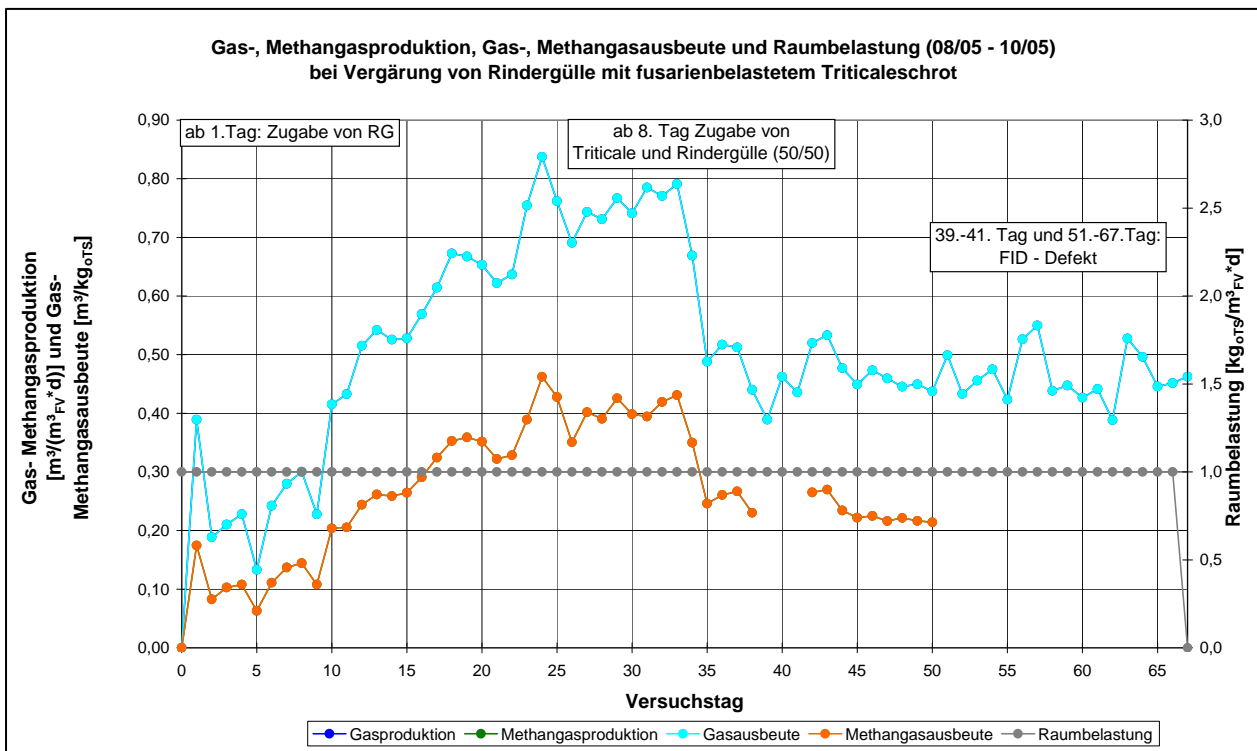
## 2.2 Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 1

### Versuchszeitraum:

- ⇒ 19.08. – 23.10.05, 67 Tage
- ⇒ – 67. Versuchstag

### Betriebsparameter:

- ⇒ quasikontinuierlicher Betrieb
- ⇒ mesophiler Temperaturbereich (36 °C)
- ⇒ Substratzugabe: 1x am Tag
- ⇒ Rührintervall: halbstündlich für 2 Minuten



**Diagramm 2: Versuch Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 1**

Der Versuch wurde mit aktivem Gärmaterial gestartet und Rindergülle aus Clausnitz/Sachsen mit der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  zugegeben. Das Diagramm 2 zeigt einen Überblick über den Versuchsverlauf des Versuchs Rindergülle mit Triticaleschrot.

Ab dem 8. Versuchstag wurde mit dem Substrat fusarienbelastetes Triticaleschrot in Covergärung mit Rindergülle in einem Mischungsverhältnis der organischen Trockensubstanz von 50 : 50 begonnen. Das Triticaleschrot war auf mittlerer Stufe geschrotet und enthielt keine Spelzen. Es wurde vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (vormals Landesanstalt für Landwirtschaft) bereitgestellt. Die absolute Zugabemenge an Triticaleschrot wurde entsprechend der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  eingestellt. Der oTS- Gehalt der Zugabe lag



bei 3 %. Die theoretische Verweilzeit wurde durch Verdünnen der Gülle mit Wasser auf 30 Tage eingestellt. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis des Triticaleschrots wurde untersucht und ein C/N-Wert von 23,34 ermittelt.

### Ergebnisse

#### *Gas-, Methangasproduktion und Gas-, Methangasausbeute (vgl. Diagramm 2-1)*

Auf Grund der eingestellten Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}}\cdot\text{d}$  fielen die Kurven der Gasproduktion und der Methangasproduktion auf die der Gas- und Methangasausbeute. Durch Auswertung eines stabilen Bereichs ab dem 35. Versuchstag, in dem die Werte nur statistische Schwankungen aufwiesen, können Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,466 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,244 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,466 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,244 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  angegeben werden. Die methanbezogenen Gaswerte konnten aufgrund der Reparatur des FID-Messgerätes nicht zwischen dem 39. und 41. sowie zwischen dem 51. und 67. Versuchstag ermittelt werden.

#### *pH-Wert (vgl. Diagramm 2-2)*

Die pH- Werte schwankten zu Beginn stark zwischen pH 7,0 und 7,5. Die Werte sanken im Versuchsverlauf kontinuierlich auf Werte um 7,25 ab. Am Ende des Versuchs stabilisierte sich der pH-Wert in diesem Bereich.

#### *Methangehalt (vgl. Diagramm 2-2)*

Der Methangehalt betrug im Mittel 52,4 Vol.-%. Stärkere Schwankungen im Methangehalt des produzierten Biogases traten auf. Aufgrund der Reparatur des FID-Messgerätes konnte der Methangehalt im Biogas nicht zwischen dem 39. und 41. sowie zwischen dem 51. und 67. Versuchstag ermittelt werden.

#### *Propion- und Essigsäurekonzentration (vgl. Diagramm 2-3)*

Die Konzentration an Propionsäure lag zu Versuchsbeginn mit 11.445 mg/l auf sehr hohem Niveau. Die Konzentration an Essigsäure hingegen lag mit 315 mg/l in einem normalen Bereich. Die Konzentration für Propionsäure sank bis zum 34. Versuchstag auf 4.540 mg/l ab. Die Essigsäure stieg dagegen nur leicht auf 460 mg/l. Dies ist ein Zeichen für einen kritischen Prozesszustand. Im Laufe der Vergärung konnten die sehr hohen Propionsäurewerte abgebaut werden. Bis zum Versuchsende wurden unkritische Fettsäuregehalte mit Werten unter 700 mg/l ermittelt.

#### *Schwefelwasserstoffgehalt (vgl. Diagramm 2-4)*

Der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas lag zu Versuchsbeginn bei Werten um 400 ppm. Ab dem 27. Tag bis zum Ende des Versuchs ergaben sich stabil niedrige Werte um 100 ppm.

### 2.3 Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 2

#### Versuchszeitraum:

- ⇒ 24.10. – 11.12.05, 48 Tage
- ⇒ – 48. Versuchstag

#### Betriebsparameter:

- ⇒ quasikontinuierlicher Betrieb
- ⇒ mesophiler Temperaturbereich (36 °C)
- ⇒ Substratzugabe: 1x am Tag
- ⇒ Rührintervall: halbstündlich für 2 Minuten

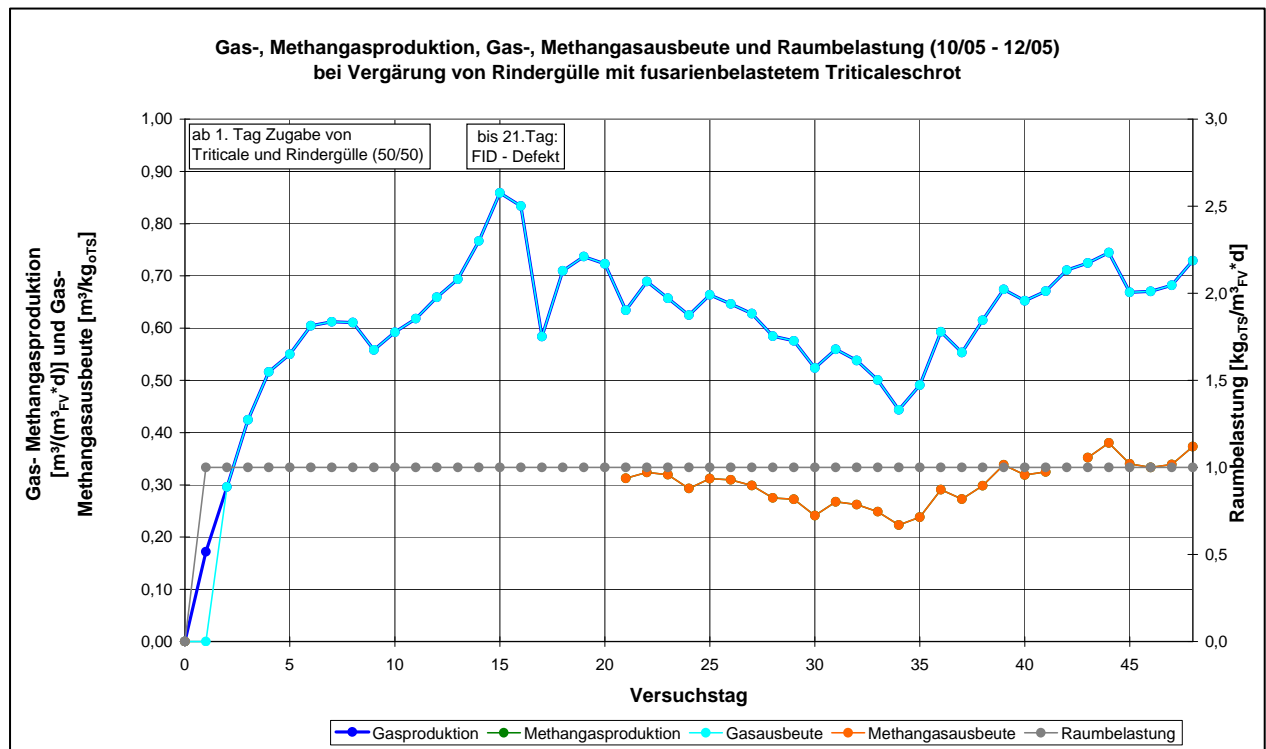


Diagramm 3: Versuch Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot, Versuch 2

Der Versuch wurde mit aktivem Gärmaterial gestartet und Rindergülle aus Clausnitz/ Sachsen mit der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  zugegeben. Das Diagramm 3 zeigt einen Überblick über den Versuchsverlauf des Versuchs Rindergülle mit fusarienbelastetem Triticaleschrot.

Ab dem 1. Versuchstag wurde mit dem Substrat fusarienbelastetes Triticaleschrot in Covergärung mit Rindergülle in einem Mischungsverhältnis der organischen Trockensubstanz von 50 : 50 begonnen. Das Triticaleschrot war auf mittlerer Stufe geschrotet und enthielt keine Spelzen. Es wurde vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (vormals Landesanstalt für Landwirtschaft) bereitgestellt. Die absolute Zugabemenge an Triticaleschrot wurde entsprechend der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  eingestellt. Der oTS-Gehalt der Zugabe lag bei 3 %. Die theoretische Verweilzeit wurde durch Verdünnen der Gülle mit Wasser auf 30 Tage eingestellt. Das

Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis des Triticaleschrots wurde untersucht und ein C/N-Wert von 23,34 ermittelt. Ab dem 32. Versuchstag wurde Rindergülle aus Lichtenberg als Grundsubstrat eingesetzt.

#### Ergebnisse

##### *Gas-, Methangasproduktion und Gas-, Methangasausbeute (vgl. Diagramm 3-1)*

Auf Grund der eingestellten Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}}\cdot\text{d}$  fielen die Kurven der Gasproduktion und der Methangasproduktion auf die der Gas- und Methangasausbeute. Durch Auswertung eines stabilen Bereichs ab dem 35. Versuchstag, in dem die Werte nur statistische Schwankungen aufwiesen, können Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,623 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,302 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,623 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,302 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  angegeben werden. Die methanbezogenen Gaswerte konnten aufgrund der Reparatur des FID-Messgerätes erst ab dem 21. Versuchstag ermittelt werden.

##### *pH-Wert (vgl. Diagramm 3-2)*

Die pH-Werte sanken ab dem Versuchsbeginn kontinuierlich von 7,8 auf 7,3 ab. Am Ende des Versuchs stabilisierte sich der pH-Wert in diesem Bereich.

##### *Methangehalt (vgl. Diagramm 3-2)*

Der Methangehalt betrug im Mittel 48,5 Vol.-%. Stärkere Schwankungen im Methangehalt des produzierten Biogases traten auf. Zum Ende des Versuches ergaben sich ansteigende Werte bis über 51 Vol.-% Methan. Aufgrund der Reparatur des FID-Messgerätes konnte der Methangehalt im Biogas nicht bis zum 20. Versuchstag ermittelt werden.

##### *Propion- und Essigsäurekonzentration (vgl. Diagramm 3-3)*

Die Konzentration an Propionsäure lag zu Versuchsbeginn mit 700 mg/l im normalen Bereich. Die Konzentration an Essigsäure lag mit 355 mg/l auf niedrigem Niveau. Die Konzentrationen beider Säuren veränderten sich nur leicht während der Versuchsdauer. Zum Ende des Versuchs näherten sich die Werte beider Säuren an.

##### *Schwefelwasserstoffgehalt (vgl. Diagramm 3-4)*

Der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas lag zu Versuchsbeginn bei Werten um 400 ppm. Ab dem 23. Tag bis zum Ende des Versuchs ergaben sich stabil niedrige Werte um 100 ppm.

## 2.4 Rindergülle mit Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale

### Versuchszeitraum:

- ⇒ 04.10.05 – 02.01. 06, 91 Tage und 25.01.- 24.02.06, 31 Tage
- ⇒ 40. – 130. und 153. – 183. Versuchstag

### Betriebsparameter:

- ⇒ quasikontinuierlicher Betrieb
- ⇒ mesophiler Temperaturbereich (36 °C)
- ⇒ Substratzugabe: 1x am Tag
- ⇒ Rührintervall: viertelstündlich für 5 Minuten

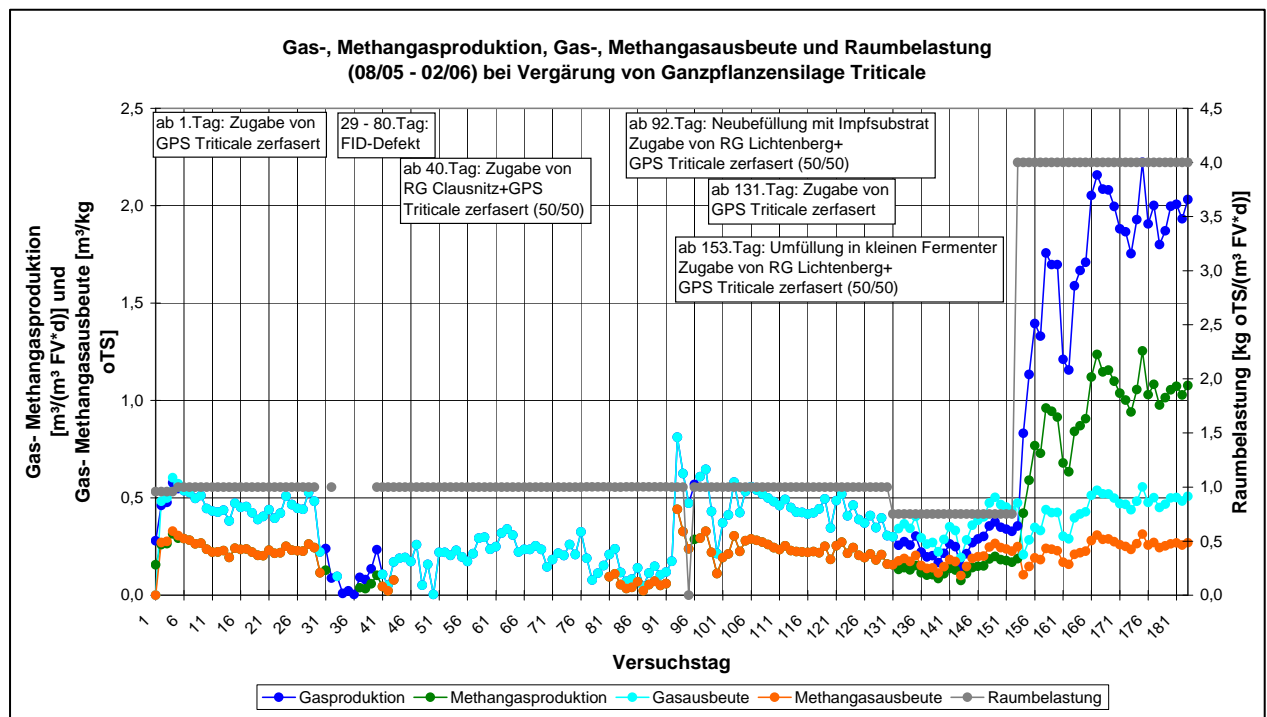


Diagramm 4: Versuch Rindergülle mit Ganzpflanzensilage Triticale

Der Versuch schließt an den Versuch Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale an. Bis zum 91. Tag wurde Rindergülle aus Clausnitz als Basissubstrat eingesetzt. Am 92. Tag wurde aufgrund einer Prozesshemmung der Fermenter neu mit Impfsubstrat befüllt. Danach kam Rindergülle aus Lichtenberg zum Einsatz. Das Diagramm 4 zeigt einen Überblick über den Versuchsverlauf, der auch den Verlauf des Versuchs Ganzpflanzensilage Triticale beinhaltet.

Die Ganzpflanzensilage Triticale wurde mit einem Küchenzerkleinerer zerkleinert. Die Zugabemenge an Ganzpflanzensilage Triticale wurde entsprechend der Raumbelastung von 1 und 4  $\text{kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$  eingestellt. Der oTS-Gehalt der Zugabe lag bei 3 % und 12 %. Die theoretische Verweilzeit wurde durch Verdünnen mit Wasser auf 30 Tage eingestellt. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis der Ganzpflanzensilage Triticale wurde untersucht und ein C/N- Wert von 54,37 ermittelt.

## Ergebnisse

### *Gas-, Methangasproduktion und Gas-, Methangasausbeute (vgl. Diagramm 4-1)*

Auf Grund der eingestellten Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  fielen die Kurven der Gasproduktion und der Methangasproduktion auf die der Gas- und Methangasausbeute. Durch Auswertung eines stabilen Bereichs ab dem 110. Versuchstag, in dem die Werte nur statistische Schwankungen aufwiesen, können Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,432 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,224 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,432 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,224 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  angegeben werden. Ab dem 153. Versuchstag konnten bei einer Raumbelastung von  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  folgende Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $1,946 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $1,068 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,491 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,267 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  ermittelt werden.

### *pH-Wert (vgl. Diagramm 4-2)*

Mit der Zugabe der Rindergülle und GPS stiegen die pH-Werte in den normalen Bereich und stabilisierten sich bei knapp über pH 7. Mit der Neubefüllung ab dem 92. Tag fielen die pH-Werte von 7,8 stetig bis zum 152. Tag auf pH 7,2 ab. Mit der Umfüllung des Ansatzes in den kleineren Fermenter stiegen die pH-Werte in einen stabilen Bereich um 7,5 an.

### *Methangehalt (vgl. Diagramm 4-2)*

Der Methangehalt betrug im Mittel 52 Vol.-% bei der Vergärung mit Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ . Bei der Raumbelastung von  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  stellten sich höhere Werte mit durchschnittlich 54 Vol.-% Methan ein. Es kam bei beiden Belastungsstufen zu stark schwankenden Methangehalten.

### *Propion- und Essigsäurekonzentration (vgl. Diagramm 4-3)*

Die Konzentrationen an Propion- und Essigsäure lagen zu Versuchsbeginn mit jeweils unter 500 mg/l auf sehr niedrigem Niveau. Am 83. Tag wurden eine starke Erhöhung des Propionsäuregehaltes auf 4.500 mg/l festgestellt. Die Konzentration an Essigsäure lag mit 400 mg/l in einem normalen Bereich. Durch die Neubefüllung ab dem 92. Tag traten wieder normale Konzentrationen für Propion- und Essigsäure mit Werten von jeweils unter 700 mg/l auf. Am Versuchsende wurden erhöhte Fettsäuregehalte mit Werten von 5.370 mg/l für die Essigsäure und mit 1.500 mg/l für die Propionsäure ermittelt.

### *Schwefelwasserstoffgehalt (vgl. Diagramm 4-4)*

Der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas lag zu Versuchsbeginn bei Werten unter 100 ppm sehr niedrig. Ab dem 92. Tag ergab sich anfangs ein Wert über 500 ppm, die aber später in Bereiche um 240 ppm absanken. Bis zum Ende des Versuchs traten bei erhöhter Raumbelastung höhere Werte an  $\text{H}_2\text{S}$  mit 710 ppm auf.

## 2.5 Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale

### Versuchszeitraum:

- ⇒ 25.08. – 03.10.05, 39 Tage und 03.01.- 24.01.06, 22 Tage
- ⇒ – 39. und 131. – 152. Versuchstag

### Betriebsparameter:

- ⇒ quasikontinuierlicher Betrieb
- ⇒ mesophiler Temperaturbereich (36 °C)
- ⇒ Substratzugabe: 1x am Tag
- ⇒ Rührintervall: viertelstündlich für 5 Minuten

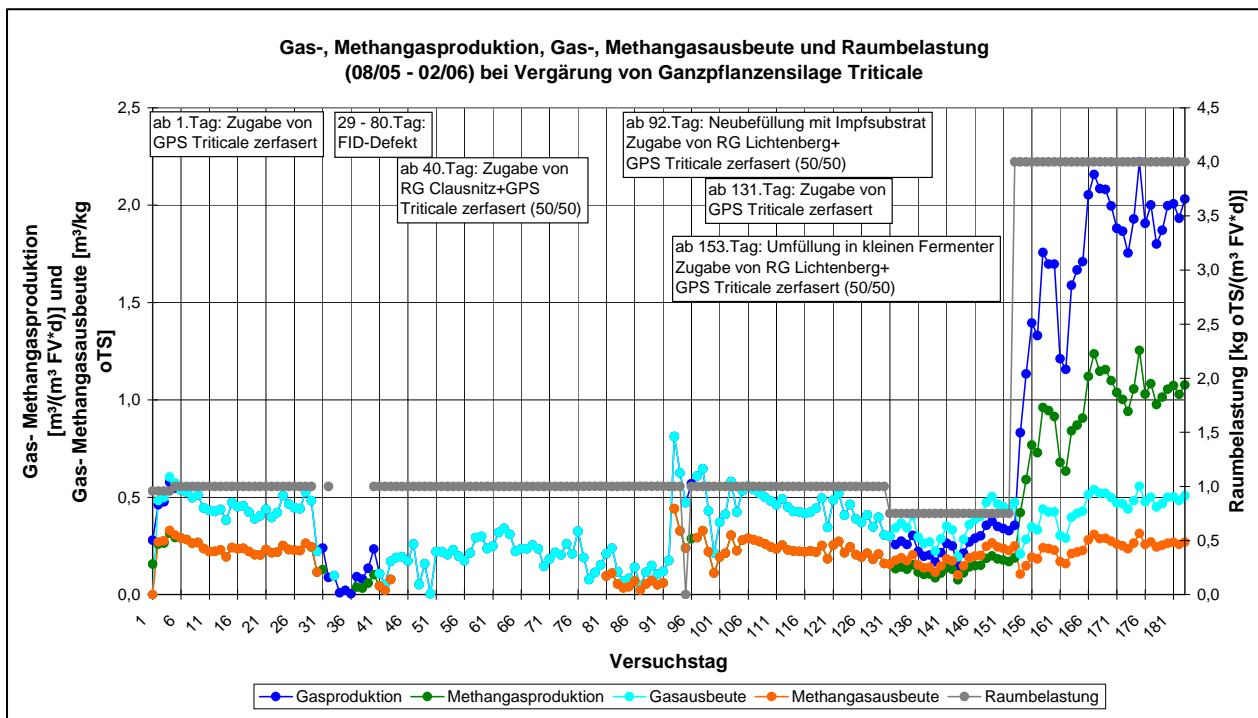


Diagramm 5: Versuch Ganzpflanzensilage Triticale

Der Versuch wurde mit aktivem Gärmaterial gestartet und Ganzpflanzensilage Triticale von der Agrargenossenschaft Bergland Clausnitz mit der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  zugegeben. Das Diagramm 5 zeigt einen Überblick über den Versuchsverlauf, der auch den Verlauf des Versuchs mit Rindergülle und Ganzpflanzensilage Triticale beinhaltet.

Die Ganzpflanzensilage Triticale wurde mit einem Küchenzerkleinerer zerkleinert. Vom 131.- 152. Versuchstag wurde die Zugabemenge an Ganzpflanzensilage Triticale entsprechend der Raumbelastung von  $0,75 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  eingestellt. Der oTS-Gehalt der Zugabe lag zwischen 3 % und 2,25 %. Die theoretische Verweilzeit wurde durch Verdünnen der Ganzpflanzensilage mit Wasser auf 30 und 40 Tage eingestellt. Das Kohlenstoff-Stickstoffverhältnis der Ganzpflanzensilage Triticale wurde untersucht und ein C/N-Wert von 54,37 ermittelt.

## Ergebnisse

### *Gas-, Methangasproduktion und Gas-, Methangasausbeute (vgl. Diagramm 4-1)*

Auf Grund der eingestellten Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}}\cdot\text{d}$  fielen die Kurven der Gasproduktion und der Methangasproduktion auf die der Gas- und Methangasausbeute. Durch Auswertung eines stabilen Bereichs ab dem 4. Versuchstag, in dem die Werte nur statistische Schwankungen aufwiesen, können Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,442 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,228 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,442 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,228 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  angegeben werden. Ab dem 131. Versuchstag konnten bei einer Raumbelastung von  $0,75 \text{ kg}_{\text{oTS}}/\text{m}^2_{\text{FV}}\cdot\text{d}$  folgende Durchschnittswerte für die Gasproduktion mit  $0,337 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Methangasproduktion mit  $0,176 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}}\cdot\text{d}$ , die Gasausbeute mit  $0,449 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  und die Methangasausbeute mit  $0,234 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{oTS}}$  ermittelt werden.

### *pH-Wert (vgl. Diagramm 4-2)*

Die pH-Werte sanken ab dem 1. Versuchstag stark von 7,3 auf unter 6,5, woraufhin die Zugabe an Frischsubstrat an 4 Tagen zum Versuchende eingestellt wurde. Im folgenden Versuch mit Ganzpflanzensilage Triticale lagen die pH-Werte über 7,1. Die Werte schwankten ebenfalls stark.

### *Methangehalt (vgl. Diagramm 4-2)*

Der Methangehalt betrug im Mittel 52 Vol.-%. Stärkere Schwankungen im Methangehalt des produzierten Biogases traten auf. Aufgrund der Reparatur des FID-Messgerätes konnte der Methangehalt im Biogas nicht zwischen dem 32. und 39. Versuchstag ermittelt werden.

### *Propion- und Essigsäurekonzentration (vgl. Diagramm 4-3)*

Die Konzentration an Propionsäure lag zu Versuchsbeginn am 7. Tag mit über 10.000 mg/l auf sehr hohem Niveau. Es handelt sich wahrscheinlich um sehr hohe Werte aus dem Impfsubstrat. Die Konzentration an Essigsäure hingegen lag mit 400 bis 670 mg/l in einem normalen Bereich. Die Konzentration für Propionsäure sank bis zum 28. Versuchstag auf 4.020 mg/l ab. Im Laufe der Vergärung konnten die sehr hohen Propionsäurewerte abgebaut werden. Bis zum Versuchende wurden unkritische Fettsäuregehalte mit Werten unter 700 mg/l ermittelt.

### *Schwefelwasserstoffgehalt (vgl. Diagramm 4-4)*

Der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas lag zu Versuchsbeginn bei Werten unter 25 ppm sehr niedrig. Ab dem 131. Tag bis zum Ende des Versuchs ergaben sich stabile Werte zwischen 200 und 300 ppm.

## **3 Substratvergleich und zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse**

### **3.1 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse**

Die erzielten Ergebnisse sind als Zahlenwerte in Tabelle 2 für die untersuchten Größen nach Versuchen und Substraten geordnet dargestellt.

Der Variationskoeffizient der Methangasausbeute gibt Auskunft darüber, wie stark die Schwankung um den Mittelwert der Methangasausbeute im ausgewerteten Zeitraum des Versuchs war. Dafür wird die Standardabweichung des Mittelwerts durch den Mittelwert der Methangasausbeute dividiert; mit der sich daraus ergebenden Kennzahl können die Schwankungen in den verschiedenen Versuchen miteinander verglichen werden.

**Tabelle 2: Versuchsergebnisse im Überblick**

Substrat	Ausgewertete Tage	Verweilzeit	Raumbelastung	Gasproduktion	Methan-gasproduktion	Gasaus-beute	Methangasausbeute			Methan-gehalt	Variations-koeffizient der Me-thangasausbeute
	d	d	kg <sub>oTS</sub> /m <sup>3</sup> <sub>FV</sub> *d	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>FV</sub> *d		m <sup>3</sup> /kg <sub>oTS</sub>	m <sup>3</sup> /kg <sub>oTS</sub>			%	%
Triticale mit Rindergülle	43	30	1	0,437	0,204	0,437	0,176	0,204	0,252	46,68	2,280
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 1	33	30	1	0,466	0,244	0,466	0,214	0,244	0,270	52,36	2,684
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 2	28	30	1	0,623	0,302	0,623	0,223	0,302	0,381	48,48	2,593
GPS Triticale	20	30	1	0,442	0,228	0,442	0,194	0,228	0,262	51,57	1,620
	8	40	0,75	0,337	0,176	0,449	0,198	0,234	0,265	52,12	3,604
GPS Triticale mit Rindergülle	20	30	1	0,432	0,224	0,432	0,181	0,224	0,272	51,85	2,413
	19	30	4	1,964	1,068	0,491	0,227	0,267	0,314	54,38	1,916



#### *Ausgewertete Tage (vgl. Tabelle 2)*

Der Zeitraum für die Auswertung der Gaswerte wurde so gewählt, dass innerhalb des Versuches bei einer konstanten Raumbelastung nur noch statistische Schwankungen der Gaswerte auftraten. Anfahr- und Abklingvorgänge zu Beginn und gegen Ende der Versuche wurden dabei nicht berücksichtigt.

#### *Verweilzeit (vgl. Tabelle 2)*

Die Verweilzeit lag während der Versuche bei 30 Tagen. Nur während der Vergärung von Triticale GPS mit einer Raumbelastung von  $0,75 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  wurden 40 Tage Verweilzeit durch die Zugabe von Wasser eingestellt.

#### *Raumbelastung (vgl. Tabelle 2)*

Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde die Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  gewählt. Bei der Untersuchung von GPS wurden auch niedrigere ( $0,75 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$ ) und deutlich höhere Raumbelastungen ( $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$ ) untersucht.

#### *Gasproduktion (vgl. Tabelle 2)*

Bei der Vergärung von GPS Triticale mit Rindergülle wurden bei einer Raumbelastung von  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  sehr hohe Gasproduktionswerte von über  $2 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  erreicht. Der Versuch mit GPS ergab bei einer Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  Werte mit  $0,442 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ . Bei der Vergärung von Rindergülle mit Triticale sowie dem 1. Versuch mit fusarienbelasteter Triticale ergab sich eine Gasproduktion in einem ähnlichen Bereich mit  $0,437$  und  $0,466 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ . Im 2. Versuch mit fusarienbelasteter Triticale ergab sich eine deutlich höhere Gasproduktion mit  $0,623 \text{ m}^3/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$ .

#### *Methangehalt (vgl. Tabelle 2)*

Der mittlere Methangehalt in den Versuchen lag zwischen 47 und 54 Vol.-%. Den höchsten Methangehalt mit 54,38 Vol.-% wies der Versuch mit GPS bei einer Raumbelastung von  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  auf. Sehr viel niedrigere durchschnittliche Methangehalte im Biogas mit 46 bis 48 Vol.-% wurden bei den Vergärungsversuchen mit Triticale und beim Versuch 2 fusarienbelasteter Triticale mit Rindergülle erzielt. Diese niedrigen Werte können sich durch einen bevorstehenden Defekt des Methanmessgerätes FID ergeben haben. Im 1. Versuch mit fusarienbelasteter Triticale wurden im Durchschnitt 52,36 Vol.-% ermittelt.

#### *Methangasausbeute (vgl. Tabelle 2)*

Der 2. Versuch mit fusarienbelasteter Triticale und Rindergülle ergab die höchste Methangasausbeute mit  $0,302 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$ . Die Werte der anderen Versuche liegen zwischen  $0,204$  und  $0,244 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$ . Beim Versuch GPS mit Rindergülle bei Raumbelastung  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$  stieg die Methangasausbeute auf  $0,267 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$  an gegenüber der Ausbeute bei der Raumbelastung von  $1 \text{ kg}_{\text{OTS}}/(\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d})$ . Normalerweise sinkt die Methangasausbeute bei steigender Raumbelastung ab.

Ein endgültiger Vergleich der Methangasausbeuten für verschiedene Substrate lässt sich jedoch nur bei einer Monovergärung durchführen. Bei Substraten, die als Cofermentat zusammen mit Rindergülle eingesetzt wurden, muss das Mischungsverhältnis in der Zugabe beachtet und die Methangasausbeute für das Substrat aus dem Ergebnis des Versuchs herausgerechnet werden. In Tabelle 6 werden deshalb die Werte für die Gas- und Methangasausbeute der Cosubstrate als Monosubstrate errechnet dargestellt.

Zunächst soll hier jedoch die Stabilität der durchgeführten Vergärungsversuche zusammengefasst werden. In der Tabelle 3 sind die für die Prozessstabilität relevanten Größen nach Versuchen und Substraten geordnet aufgeführt.

**Tabelle 3: Parameter für die Prozessstabilität**

Substrat	Raumbelastung	pH	Propionsäurekonzentration	Essigsäurekonzentration	Schwefelwasserstoffgehalt
	kg <sub>OTS</sub> /m <sup>3</sup> <sub>FV</sub> *d	-	mg/l	mg/l	ppm
Triticale mit Rindergülle	1	7,23	349 - 995	270 - 372	98 – 99
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 1	1	7,29	455 - 680	425 - 435	120 - 133
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 2	1	7,31	614 - 835	264 - 440	71 - 116
GPS Triticale	1	6,95	4020	670	9
	0,75	7,27	95	345	192
GPS Triticale mit Rindergülle	1	7,59	370 - 670	255 – 325	279 – 283
	4	7,49	630 - 1490	492 - 5370	710

Die Stabilität eines Vergärungsprozesses kann durch die Analyse der Propion- und Essigsäurekonzentrationen im Fermenter bewertet werden. Liegen die Konzentrationen der flüchtigen Fettsäuren unter einem Gehalt von 1.000 mg/l wie in den Versuchen mit Triticale und fusarienbelasteter Triticale, kann von einer stabilen Vergärung ausgegangen werden. Im Bereich von 1.000 bis 5.000 mg/l verläuft der Vergärungsprozess wie in den Versuchen mit GPS kritisch. Über diesem Bereich muss der Prozess als instabil bezeichnet werden, obwohl sich die Bakterien auch an hohe Fettsäuregehalte adaptieren können und die Vergärung dadurch noch stabil ablaufen kann, falls die Steigerung der Konzentrationen sehr langsam vorgeht. Wichtig ist deshalb das Verhältnis der beiden Säuren zueinander. Liegt der Gehalt an Essigsäure mit dem Zweifachen über dem an Propionsäure, verläuft der Prozess stabil, weil auf dem Abbauweg von der Biomasse zum Biogas das Zwischenprodukt der mehrstufigen Vergärung Propionsäure genügend zu Essigsäure abgebaut wird. Kommt es wie im Versuch bei der Vergärung von GPS zu einem sogenannten Propionsäurestau, bei dem der Gehalt an Propionsäure den der Essigsäure im Laufe des Versuchs immer weiter übersteigt, ist dieser Zwischenschritt des Abbaus der Biomasse und somit der gesamte Vergärungsprozess gehemmt und der Prozess ist nur durch einen längeren Zugabestopp wieder zu stabilisieren. In vorliegendem Fall fiel die Entscheidung zugunsten eines Neustarts des Versuchs mit GPS aus.

Der pH-Wert ist bei der Covergärung von Substraten mit Rindergülle auf Grund der hohen Pufferwirkung der Gülle nicht dazu geeignet, eine Aussage über die Prozessstabilität zu treffen. Bei der Monovergärung von GPS war die Änderung des pH-Wertes ohne die Pufferwirkung der Gülle jedoch messbar. Es kam zur Hemmung durch

einen Propionsäurestau mit gleichzeitigem Abfall des pH-Wertes. Am Ende der Versuche mit Rindergülle und GPS bei Raumbelastung  $4 \text{ kg}_{\text{OTS}}/\text{m}^3_{\text{FV}} \cdot \text{d}$  wurde ein neuer Parameter, FOS/TAC, zur Beurteilung der Prozessstabilität gemessen (siehe Diagramm 4-3). Mit Werten unter 0,2 wurde der Grenzwert der Stabilität von 0,3 nicht überschritten.

Betrachtet man den Schwefelwasserstoffgehalt des in den Vergärungsversuchen produzierten Biogases, so ist zu erkennen, dass die Versuche mit Rindergülle und Triticale sowie fusarienbelasteter Triticale und GPS Triticale mit Konzentrationen unter 200 ppm nur geringe Schwefelwasserstoffgehalte aufweisen. Nur im Versuch mit Rindergülle und GPS Triticale traten Gehalte bis 700 ppm Schwefelwasserstoff auf.

### 3.2 Batchversuche

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der durchgeführten Batchversuche als Zahlenwerte aufgeführt.

**Tabelle 4: Ergebnisse der Batchversuche**

Substrat	Versuchszeitraum	Anzahl der Tage	Reaktionsgeschwindigkeit	Gasausbeute	Methangausbeute	Methangehalt	pH
		d	d	$\text{m}^3/\text{kg}_{\text{OTS}}$		%	-
Triticaleschrot	09.11 - 11.12.05	31	8,09	0,704	0,301	42,74	7,63
fusarienbelastetes Triticaleschrot	15.08 - 14.09.05	30	8,72	1,151	0,547	47,47	7,74
GPS Triticale	09.11 - 11.12.05	31	11,81	0,419	0,146	34,78	7,55

Die Reaktionsgeschwindigkeit im Batchversuch gibt an, wie schnell ein Substrat zu Biogas abgebaut wurde. Demnach können langsam zu vergärende Substrate wie Rindergülle, Schweinegülle und Grassilage von den schnell vergärbaren Substraten wie den Getreidearten und Maissilage unterschieden werden.

Die Gas- und Methangasausbeuten wurden jeweils als Grenzwert einer zeitlich unendlich langen Vergärung durch Kurvenanpassung an die Gassummenkurve ermittelt.

Der Methangehalt wurde mit dem Quotienten der Methan- und Gasausbeute berechnet. Dabei ergaben sich auf Grund der notwendigen Gasspeicherung zum Ansammeln einer ausreichenden Gasmenge für die Methanmessung mit 35 bis 47 Vol.-% sehr niedrige Methangehalte. Der angegebene pH-Wert wurde am Ende der Versuche gemessen, um die Stabilität der Vergärung im Batchversuch beurteilen zu können. Demnach lagen bei allen durchgeführten Versuchen die pH-Werte in einem für die Methanbakterien akzeptablen Bereich von 7,55 bis 7,74 und die Versuche können als stabile Vergärung bezeichnet werden.

### 3.3 Konzentration an Mykotoxin in Triticale und im Gärrest

Das eingesetzte Getreide Triticale mit Fusarienbelastung wies eine Konzentration des Hauptmykotoxins Deoxynivalenol (DON) von  $3.200 \mu\text{g}/\text{kg}$  auf. Bei der Untersuchung des Gärrestes der beiden Versuche mit fusarienbe-

lasteter Triticale konnte kein Deoxynivalenol (DON) nachgewiesen werden. Dies liegt an der Unterschreitung der Bestimmungsgrenze von 50 ng/ml in der Probe für den DON-Gehalt.

In der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) wird die Möglichkeit einer angepassten Bestimmungsmethode geprüft, um auch geringere Gehalte an Deoxynivalenol (DON) bestimmen zu können.

### 3.4 Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Substrate

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Substrate mit den dazugehörigen Raumbelastungen der Versuche zum Vergleich dargestellt. Auf diese Maximalwerte für die Gas- und Methangasausbeute, berechnet aus dem Futterwert, können nun die Gas- und Methangasausbeuten der Substrate, berechnet als Monosubstrat, bezogen werden. So kann eine Aussage über die Vergärbarkeit der Substrate in den Versuchen getroffen werden (vgl. Tabelle 6 Spalten  $GA_{\text{mittel}}/GA_{\text{Futter}}$  und  $MGA_{\text{mittel}}/MGA_{\text{Futter}}$ ).

In Tabelle 5 sind die Futterwerte der eingesetzten Substrate aufgeführt. Daraus wurden die theoretischen Biogaspotenziale errechnet. Diese sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die Methode zur Berechnung kann im Abschlussbericht „Untersuchung und Bewertung organischer Stoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben zur Erzeugung von Biogas in Cofermentationsprozessen“ im Kapitel 7 nachgelesen werden.

**Tabelle 5: Futterwerte der eingesetzten Substrate**

	Rohfaser g/kg TS	Rohprotein g/kg TS	Rohfett g/kg TS	Rohasche g/kg TS	NfE g/kg TS
Triticale	24,97	94,8	23,84	18,87	837,52
Fusarienbelastete Triticale	27,19	128,09	23,03	19,55	802,14
Triticale GPS	304	74	23	64	535

#### *Methangasausbeute (vgl. Tabelle 6)*

Im Versuch Triticale mit Rindergülle wurden 0,300 m<sup>3</sup>/kg<sub>oTS</sub> für die Methangasausbeute erreicht. Die Ergebnisse der beiden fusarienbelasteten Triticale lagen mit 380 und 407 m<sup>3</sup>/kg<sub>oTS</sub> höher und näher zusammen. Obwohl der Einfluss des Grundsubstrates Rindergülle herausgerechnet wurde, ist ein Unterschied bei beiden Durchgängen feststellbar. Dieser kann auf die eingesetzte unterschiedliche Rindergülle und die darauf zurückzuführenden Effekte bei der Vergärung der Triticale geführt werden. Die Methangasausbeuten aus den Futterwertanalysen der 2 eingesetzten Triticalesorten liegen sehr nah beieinander. Dies lässt auf eine gute Vergleichbarkeit der Verwertung der Inhaltsstoffe schließen.

GPS Triticale kommt auf Methangasausbeuten von 0,228 und 0,234 m<sup>3</sup>/kg<sub>oTS</sub>. Bei Verwendung von Rindergülle als Grundsubstrat kommt GPS Triticale auf höhere Werte mit 0,269 und sogar 0,364 m<sup>3</sup>/kg<sub>oTS</sub>.

**Tabelle 6: Vergleich der Substrate als Monosubstrat, Batch und nach der Futterwertberechnung**

Substrat	Raumbelastung	berechnet als Monosubstrat						GA <sub>mittel</sub> / GA <sub>Batch</sub>	MGA <sub>mittel</sub> / MGA <sub>Batch</sub>	berechnet nach Futterwert			GA <sub>mittel</sub> / GA <sub>Futter</sub>	MGA <sub>mittel</sub> / MGA <sub>Futter</sub>
		oTS	Gasausbeute		Methangausausbeute		Methan- gehalt			Methan- gehalt	Gasaus- beute	Methangas- ausbeute		
	kg <sub>oTS</sub> /m <sup>3</sup> <sub>FV</sub> *d	% FM	m <sup>3</sup> /kg <sub>oTS</sub>	m <sup>3</sup> /t <sub>FM</sub>	m <sup>3</sup> /kg <sub>oTS</sub>	m <sup>3</sup> /t <sub>FM</sub>	%	%	%	%	m <sup>3</sup> /kg <sub>oTS</sub>	%	%	
Triticale mit Rindergülle	1	74,92	0,623	514,55	0,300	247,207	48,04	88,52%	99,50%	51,9	0,701	0,364	88,88	82,21
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 1	1	74,92	0,681	510,50	0,380	284,321	55,69	59,19%	69,44%	52,5	0,692	0,363	98,45	104,51
Triticale fusarienbelastet mit Rindergülle, Versuch 2	1	69,13	0,882	609,73	0,407	281,359	46,15	76,61%	74,47%	52,5	0,692	0,363	127,44	112,08
GPS Triticale	1	37,22	0,442	164,55	0,228	84,862	51,57	68,01%	80,61%	52,1	0,488	0,254	90,61	89,63
	0,75	34,29	0,449	153,96	0,234	80,239	52,12	69,08%	82,73%	52,1	0,488	0,254	92,03	91,99
GPS Triticale mit Rindergülle	1	34,29	0,544	186,54	0,269	92,240	49,45	83,69%	95,11%	52,1	0,488	0,254	111,50	105,75
	4	25,49	0,671	171,04	0,364	92,784	54,25	103,23%	128,69%	52,1	0,488	0,254	137,53	143,09

#### *Vergleich der Methangasausbeuten mit Batchversuchen (vgl. Tabelle 6)*

Eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Batchversuche mit fast 100 % kann beim Versuch Rindergülle mit Triticale festgestellt werden. Der Versuch mit fusarienbelasteter Triticale ergab eine Übereinstimmung von 69 bzw. 74 % mit den im Batchversuch ermittelten Werten.

Bei der Vergärung von GPS Triticale ergab sich eine Übereinstimmung mit dem Batchversuch von etwa 81 %. Dagegen erzielte GPS Triticale mit Rindergülle eine höhere Übereinstimmung mit 95 bzw. 128%.

#### *Vergleich der Methangasausbeuten mit Futterwertanalysen (vgl. Tabelle 6)*

Bei den energiereichen und leicht abbaubaren Substraten, die sich zudem auch leicht in Wasser auflösen, z. B. bei den Getreideversuchen mit Triticale, wurden Verhältnisse der Methangasausbeuten von 82 bis 112 % ermittelt. Triticale erreicht dabei nur 82 % der Werte aus der Futterwertanalyse; fusarienbelastete Triticale 104 bzw. 112 %.

Das energieärmere und faserige Substrat GPS Triticale erreichte mit 90 bis 140 % der nach dem Futterwert berechneten Methangasausbeute ebenfalls hohe Werte.

#### **4 Zusammenfassung**

- Beim Vergleich der Ergebnisse mit Triticale und fusarienbelasteter Triticale kann man keinen negativen Einfluss auf den Vergärungsprozess und die Prozessstabilität durch die Belastung mit Fusarien erkennen. Die Werte der fusarienbelasteten Triticale übertrafen sogar die der zum Vergleich untersuchten Triticale.
- Die Ergebnisse der faserreicheren Ganzpflanzensilage (GPS) Triticale lagen erwartungsgemäß niedriger als die der eingesetzten Triticalekörner.
- Die alleinige Vergärung von Triticale als Ganzpflanzensilage musste auf Grund der Versäuerung des Fermenterinhalt abgebrochen werden. Dieser Versuch müsste noch einmal mit einer längeren Versuchslaufzeit in Hinblick auf die Prozessstabilität durchgeführt werden.
- Im Gärrest der Ansätze mit fusarienbelasteten Triticale wurde nach Ablauf der Versuchslaufzeit kein Deoxynivalenol (DON), das Stoffwechselprodukt der Fusarien, nachgewiesen.
- Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Vergärung von Triticale sowie fusarienbelasteter Triticale sich positiv auf die Schwefelwasserstoffkonzentration und somit auf die Qualität des Biogases auswirkt.

## 5 Anhang

### Zerkleinerte Substrate



Triticaleschrot



fusarienbelastetes Triticaleschrot



Triticale als Ganzpflanzensilage

Landesanstalt für Landwirtschaft  
 Fachbereich Landwirtschaftliches  
 Untersuchungswesen (LUFA)  
 Leipzig

Akkreditiert als Prüflabor nach  
 DIN EN ISO/IEC 17025  
 Registriernummer: DAP-PL-3281.00

Landesanstalt für Landwirtschaft  
 Dr. Kerstin Jäkel

Leipzig, 20.12.2005  
 Bearbeiter: Ursula Klostermann

Prüfbericht zum Auftrag: 05-2-2521

Labor-Nr.:	05P11457	Probeneingang:	
Bezeichnung der Probe:	F2	Prüfzeitraum:	22.11.-20.12.05
Beschreibung der Probe:	Triticale mit Fusarien		
Probennahme:		durch	-
Verpackung:	Beutel ohne Plombe	Zustand:	i.O.

Untersuchungsergebnisse: Die Befunde beziehen sich auf die Originalsubstanz mit dem angegebenen Trockensubstanzgehalt.

Untersuchungsmerkmal	Messwert	Dimension	Methode
Rohprotein	11,4	%	PAW 02 317 (DUMAS)
Rohasche	1,74	%	MB III VDLUFA Nr. 8.1
Rohfett	2,05	%	MB III VDLUFA Nr. 5.1.1
Rohfaser	2,42	%	MB III VDLUFA Nr. 6.1.1
Gesamtzucker	3,91	%	MB III VDLUFA Nr. 7.1.3
Stärke	56,9	%	MB III VDLUFA Nr. 7.2.1
Trockensubstanz	89,0	%	MB III VDLUFA Nr. 3.1

Unterschrift: Krieg



Anmerkung:

- ⇒ Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o. g. Prüfgegenstände. Es gelten die Analysenspielräume des VDLUFA. Eine auszugsweise Veröffentlichung der Ergebnisse bedarf der Zustimmung des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- ⇒ Mit \*) gekennzeichnete Merkmale wurden von Unterauftragnehmern bzw. mit nicht akkreditierten Verfahren bearbeitet.

Fachbereich Landwirtschaftliches  
Untersuchungswesen (LUFA)

Akkreditiert als Prüflabor nach  
DIN EN ISO/IEC 17025

Landesanstalt für Landwirtschaft  
 Fachbereich Landwirtschaftliches  
 Untersuchungswesen (LUFA)  
 Leipzig

Akkreditiert als Prüflabor nach  
 DIN EN ISO/IEC 17025  
 Registriernummer: DAP-PL-3281.00

Landesanstalt für Landwirtschaft  
 Dr. Kerstin Jäkel

Leipzig, 08.08.2005  
 Bearbeiter: Ursula Klostermann

Prüfbericht zum Auftrag: 05-2-2521

Labor-Nr.:	05P11456	Probeneingang:	
Bezeichnung der Probe:	F 1	Prüfzeitraum:	22.11.-20.12.05
Beschreibung der Probe:	Triticale grob geschrotet		
Probennahme:		durch	-
Verpackung:	Beutel ohne Plombe	Zustand:	i.O.

Untersuchungsergebnisse: Die Befunde beziehen sich auf die Originalsubstanz mit dem angegebenen Trockensubstanzgehalt.

Untersuchungsmerkmal	Messwert	Dimension	Methode
Gesamtzucker	3,58	%	MB III VDLUFA Nr. 7.1.3
Stärke	61,4	%	MB III VDLUFA Nr. 7.2.1
Trockensubstanz	88,5	%	MB III VDLUFA Nr. 3.1
Rohasche	1,67	%	MB III VDLUFA Nr. 8.1
Rohfaser	2,21	%	MB III VDLUFA Nr. 6.1.1
Rohfett	2,11	%	MB III VDLUFA Nr. 5.1.1
Rohprotein	8,39	%	PAW 02 317 (DUMAS)

Unterschrift: Krieg

Anmerkung:

- ⇒ Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die o. g. Prüfgegenstände. Es gelten die Analysenspielräume des VDLUFA.
- ⇒ Eine auszugsweise Veröffentlichung der Ergebnisse bedarf der Zustimmung des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- ⇒ Mit \*) gekennzeichnete Merkmale wurden von Unterauftragnehmern bzw. mit nicht akkreditierten Verfahren bearbeitet.

Fachbereich Landwirtschaftliches  
 Untersuchungswesen (LUFA)  
 Sächsischer Landeskontrollverband e.V.  
 09577 Lichtenwalde, August-Bebel-Str. 6

Akkreditiert als Prüflabor nach  
 DIN EN ISO/IEC 17025  
 - Futterlabor - Telefon: 037206/87140  
 E-Mail: [Infoline@lkvsachsen.de](mailto:Infoline@lkvsachsen.de)

**UNTERSUCHUNGSERGEBNIS**

**Futtermittel**

Betrieb:	Probenart:	Triticale Ganzpflanzensilage 2004
Agrargenossenschaft	gezogen am:	17.01.2005
„Bergland“ e.G. Clausnitz	Probe-Nr.:	8
Hauptstraße 13	Probeneingang:	18.01.2005
09623 Rechenberg-Bienenmühle	Journal-Nr.:	1045
	Probenehmer:	Herr Krüger

Sensorischer Befund:

Grünlich-gelbliche Färbung; Geruch: angenehm, schwach säuerlich, frei von Buttersäure, Essigsäure schwach wahrnehmbar, sensorisch frei von Schimmelbildung, Körneranteil gering, Häckselqualität sehr gut, Körner in der Teigreife, Anteil unzerkleinerter/ungequetschter Körner: keine

Analytischer Befund:	je kg Trockenmehl	je kg Trockenmasse
Trockensubstanz	327	1000
Rohasche	21	64
Rohprotein	24	74
nutzbares Rohprotein	15	123
Rohfaser	99	304
Rohfett	8	23
Stärke	Unterhalb der Bestimmungsgrenze	
Kalium	7,5	23,0
Calcium	0,8	2,8
Phosphor	0,9	2,6
Natrium	0,1	0,2
Magnesium	0,3	1,0
ph-Wert	3,7	
% Ammoniak-Stickstoff vom Rohprotein		5 % des Ges.-N.
pepsinunlösliches Rohprotein		26,3 % des RPr
nutzbares Rohprotein	35	106
ruminale N-Bilanz	- 1,7	- 5
Netto-Energie-Laktation (NEL)	1,6	5,0
umsetzbare Energie Rind (UE)	2,8	8,6

## **Impressum**

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>
- Autoren:** TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Lehrstuhl für Energietechnik  
Prof. Dr. Dr. Gerd Walter  
Dr.-Ing. Saskia Wesolowski,  
Dipl.-Ing. Nils Ohly  
Dipl.-Ing. (FH) Erik Ferchau  
Dipl.-Ing. Gerd Mardaus
- Redaktion:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Referat Betriebs-, Umweltökonomie, Verfahrensbewertung  
Uwe Mildner  
August-Böckstiegel-Straße 3  
01326 Dresden  
Telefon: 0351 2612-2700  
Telefax: 0351 2612-2099  
E-Mail: [uwe.mildner@smul.sachsen.de](mailto:uwe.mildner@smul.sachsen.de)
- Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit  
Präsidialabteilung
- ISSN:** 1867-2868
- Redaktionsschluss:** Oktober 2008

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

### **Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.