



Foto: André Künzelmann, UFZ

Der Traum vom kontrollierten Schaum

Dr. Lucie Moeller

Fachworkshop "Schaumbildung in Biogasanlagen", Leipzig 19. März 2015

Die häufigsten **Prozessstörungen**
im Biogasreaktor:

- Übersäuerung des Fermenterinhalt
- Bildung von Schwimmschichten
- übermäßige Schaumbildung



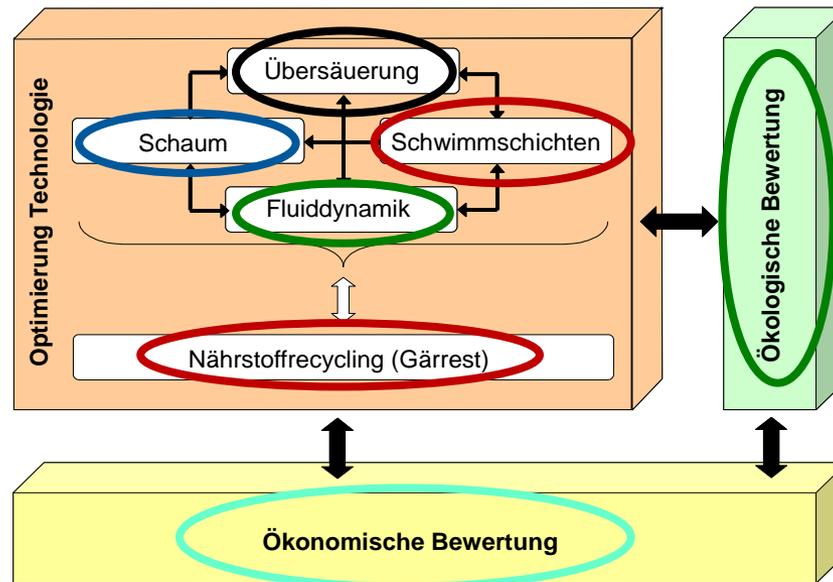
Foto: Andreas Zehndorf



Foto: Patrick Pfeffer



OPTGAS: Vergleichende Untersuchungen an großtechnischen Biogasreaktoren – Verfahrenstechnische, mikrobiologische, ökologische und ökonomische Bewertung und Optimierung (FKZ-Nr.: 03KB018)



Projektpartner:



Förderung:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Forschung auf zwei Ebenen

Praxisanlagen

Laborversuche



Erfahrungen mit der Schaumbildung in der Praxis

» **12 von 15 Biogasanlagen**, die biogenen **Abfall** nutzen
(eigene Umfrage in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen; Moeller et al. 2012)

» **5 von 36 NawaRo-Anlagen** in Sachsen
(Umfrage von SMUL; 2012)

» **10 % Biogasanlagen** laut Schätzung von 7 Biogas-Experten in
Baden-Württemberg (Umfrage von Uni Hohenheim; Wissmann 2014)

» **15 von 16 Biogasanlagen** in Dänemark
(Umfrage von Technical University of Denmark; Kougias et al. 2013)

Folgen der Schaumbildung im Biogasreaktor

Betriebstörungen und Schäden

- Verschmutzung und Verstopfung der **Leitungen**
- Ausfall von **Schiebern** und der **Rezirkulatpumpe**
- Störung der **Messsonden**
- Störung von **Mikroorganismen**
- Umkehrung des **Feststoffprofils** im Reaktor
- **Konstruktionsschäden**



Ökonomische Folgen

- **Reinigungs- und Reparaturkosten**
- **Energieverlust** durch entweichendes Biogas & durch zusätzliches Rühren
- zusätzliche **Arbeitsstunden**
- Kosten für **Entschäumer**

Maßnahmen bei Schaumbildung im Biogasreaktor

- „Hungerkur“
- Absenken des **Pegels** im Fermenter
- Verdünnen/Besprühen mit **Wasser**
- Optimierung von **Rührzyklus** und **Fütterungsintervall**
- Supplementierung mit **Spurenelementen**
- **Temperaturerhöhung** um 2 - 3 °C (bei GPS)
- Zugabe von **kommerziellen Antischaummitteln** und/oder **Pflanzenöl**



Ursachen der Schaumbildung im Biogasreaktor

1. Ungeeignete **Prozessführung** und ungünstige Umstände

2. Nutzung von risikoreichen **Substraten**

→ **Überfütterung**

→ plötzliche **Temperaturschwankungen**

→ ungünstiges **Rührmanagement**

→ **Nährstoffmangel**

→ **Ablagerungen** im unteren Bereich des Biogasfermenters

→ Nutzung von ungeeigneten **Chemikalien** in der Tierhaltung



Ursachen der Schaumbildung im Biogasreaktor

1. Ungeeignete **Prozessführung** und ungünstige Umstände

2. Nutzung von risikoreichen **Substraten**

→ **viel Stickstoff**, bzw. **Protein**

- Schlachtabfälle, Molkereiabwasser
- Hühnertrockenkot
- Hefe (Biertreber, Brot, schlecht abgedeckte Silagen)

→ **Schleimstoffe** (z. B. Pektin, Stärke)

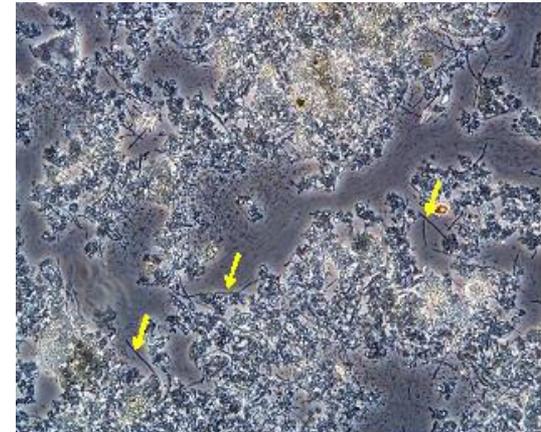
- Obst- und Gemüseabfälle
- Zuckerrübenschnitzel, Getreide

→ **Schimmelpilze** (*Penicillium roqueforti*, *Mucor hiemalis* usw.)

→ Mycotoxine

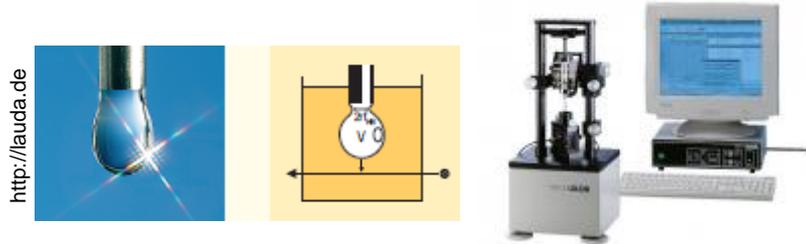
→ **filamentöse Mikroorganismen**

(anaerobe Stabilisierung des Klärschlammes in Faultürmen)



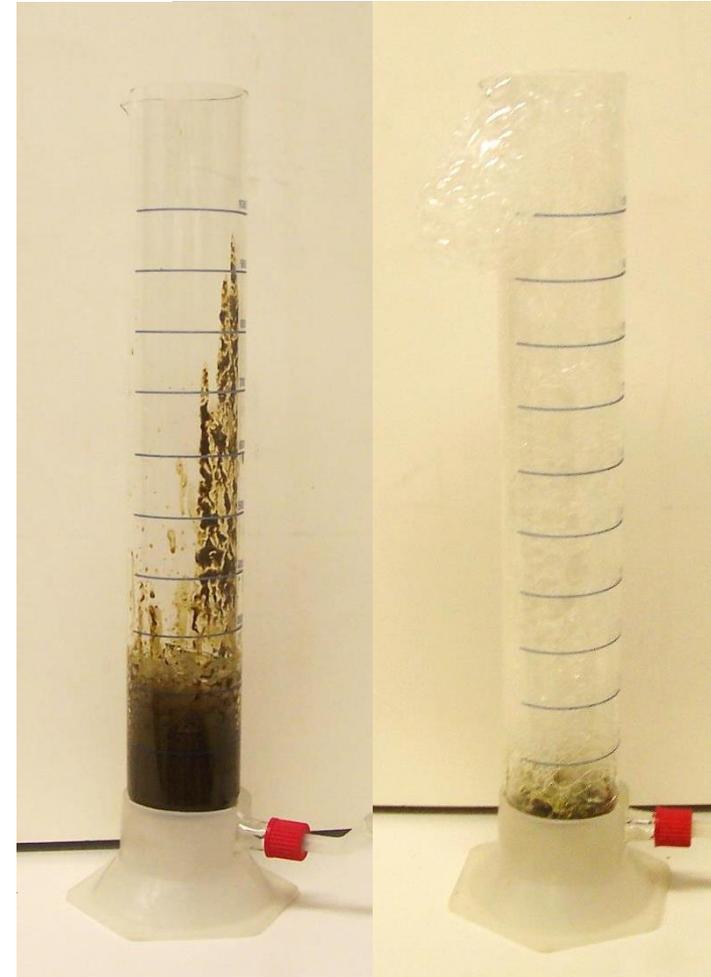
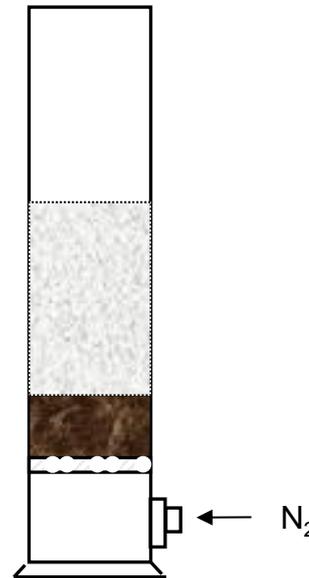
Methoden zur Untersuchung der Schaumbildung

1. Oberflächenspannung – Tropfentensiometer



2. Bubble-test*

$$\text{Schaumneigung} = \frac{V_{\text{Schaum}} [\text{mL}]}{F_{\text{Gas}} \left[\frac{\text{mL}_{\text{N}_2}}{\text{min}} \right]}$$



* Beneventi et al. (2001)

Moeller & Görsch (2012): Bestimmung des Schaumpotenzials mit dem „Bubble-Test“. Bestimmung der Oberflächenspannung, Messmethodensammlung Biogas, S. 100-103.

Methoden zur Untersuchung der Schaumbildung

3. Viskosität - Rotationsviskosimeter



Brehmer et al.: Viskosität, Messmethodensammlung Biogas 2012, S. 112

Abbildung 35: Umwicklung der Rührerwelle mit langfaserigen Substratbestandteilen (Quelle: BREHMER)

Moeller, L., Zehnsdorf, A., Beyer, D. (2013) Testset zur Bestimmung der Schaumneigung von Substrat für Biogasanlagen. Gebrauchsmuster DE 202013000693 U1.

Moeller, L.: LEIPZIGER SCHAUMTESTER – Testset und dessen Verwendung zur Bestimmung der Schaumneigung von Substrat für Biogasanlagen. Tagungsband des 6. Innovationskongresses BIOGAS 2013 „Effizienzsteigerung von Biogasanlagen“ in Osnabrück, S. 151-156.

Moeller, L., Krieg, F., Beyer, D., Köster, Y., Müller, R.A., Zehnsdorf, A.: LEIPZIGER SCHAUMTESTER - Testset und dessen Verwendung zur Bestimmung der Schaumneigung von Substrat in Biogasanlagen (pp. 170-175). In: Festschrift Konferenz „Fünf Jahre Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“: Wege zur effizienten Bioenergie“. Schriftenreihe des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, 2014, BAND 15, ISSN 2199-2762.

Moeller, L., Eismann, F., Wißmann, D., Nägele, H.-J., Zielonka, S., Müller, R.A., Zehnsdorf, A.: Innovative test method for the estimation of the foaming tendency of substrates for biogas plants. Waste Management. submitted

4. LEIPZIGER SCHAUMTESTER



Substrat-
dosierung



Rühren



START



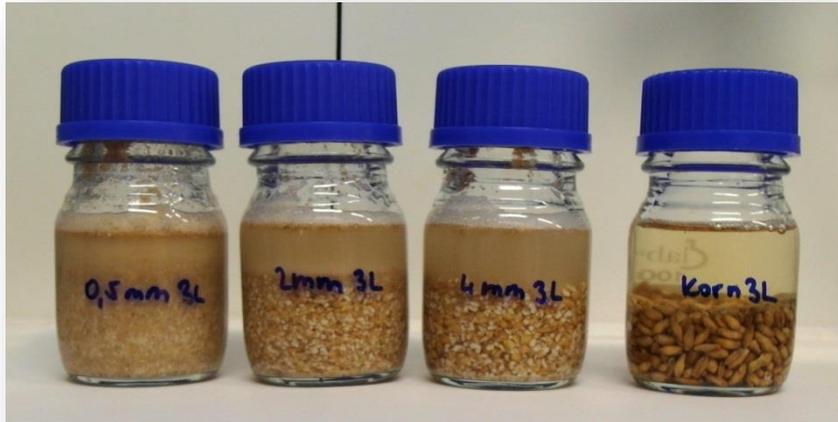
t = 3 h



t = 6 h

Methoden zur Untersuchung der Schaumbildung

5. Substratelution



6. Sonstige analytische Methoden

- TS/oTS-Bestimmung
- FOS/TAC-Bestimmung
- Spektrophotometrie ($\text{NH}_4\text{-N}$, Kohlenhydrate)
- TOC/TN-Bestimmung in Lösung
- HPLC (flüchtige org. Säuren)
- ICP-AES (wasserlösliche Elemente)

Methoden zur Untersuchung der Gasbildung

1. Bestimmung des Gasertrags – batch Tests



2. Technikumsbiogasanlage - quasi-kontinuierliche Versuche



Foto: Michael Seirig

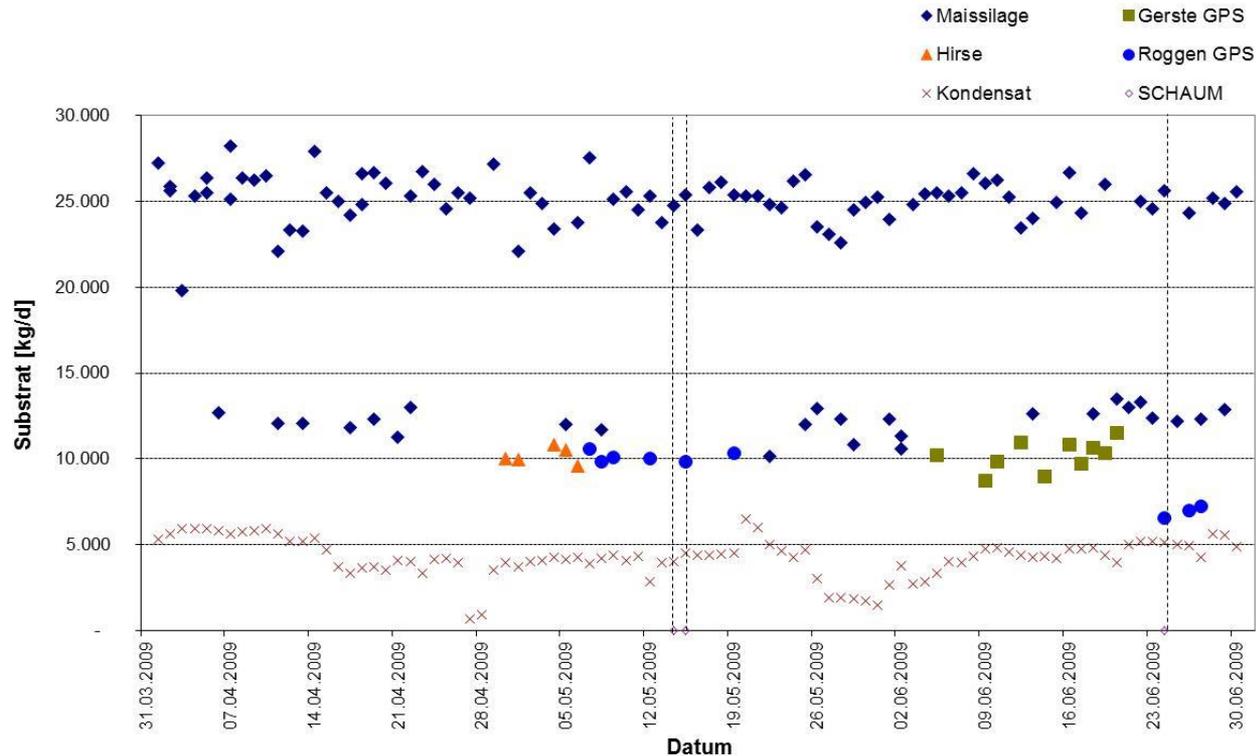
Vorgehensweise bei der Untersuchung im Praxismaßstab

1. Ausführliches Interview mit dem Anlagenfahrer führen
2. Daten analysieren
(Fütterungsprotokolle, Temperaturverläufe, Gasbildung, etc.)
3. Proben entnehmen und analysieren
(auch mikroskopisch)
4. Schaumtests mit Substraten durchführen



Datenanalyse

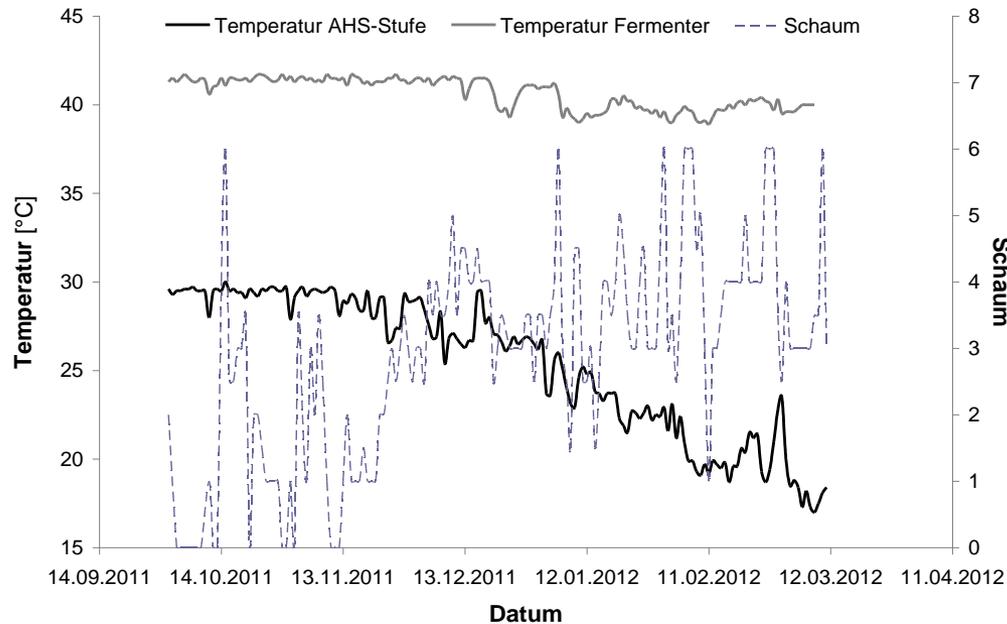
NawaRo-Anlage:



Lucie Moeller, Kati Görsch, Yvonne Köster, Roland A. Müller, Andreas Zehnsdorf: Schaumbildung und Schaumvermeidung in Biogasanlagen, UFZ-Bericht 01/2013, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, ISSN 0948-9452.

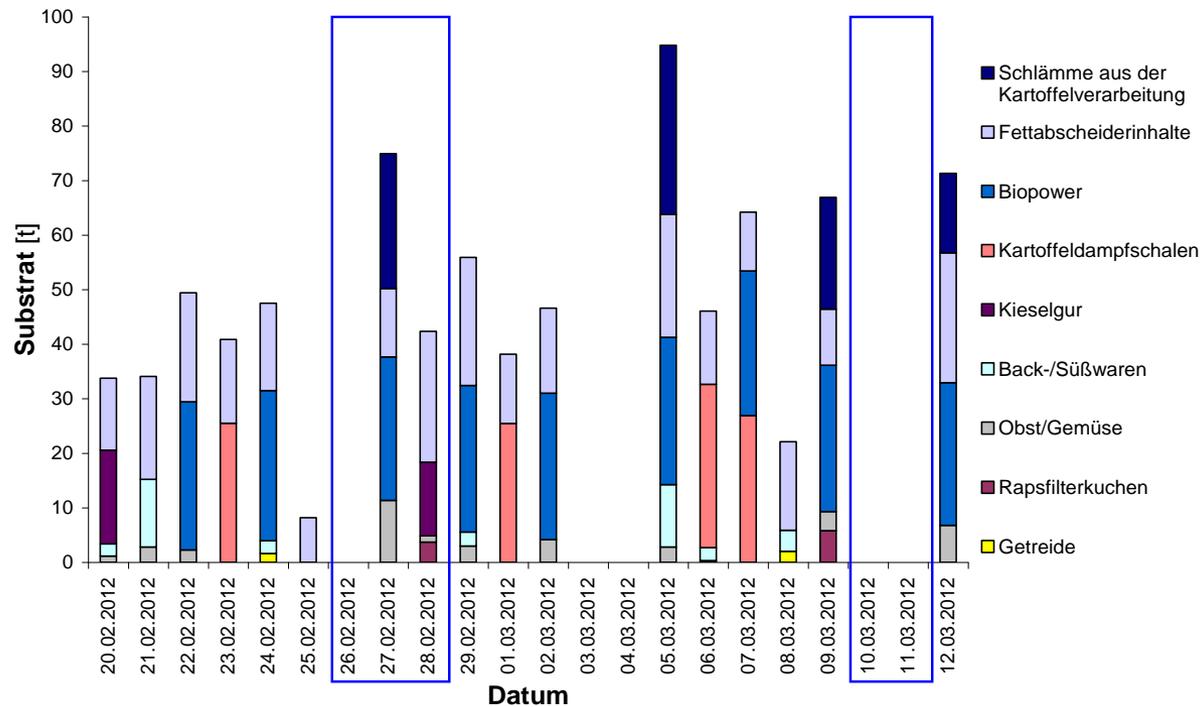
Datenanalyse

NawaRo-Anlage:



Datenanalyse

Abfall-Anlage:

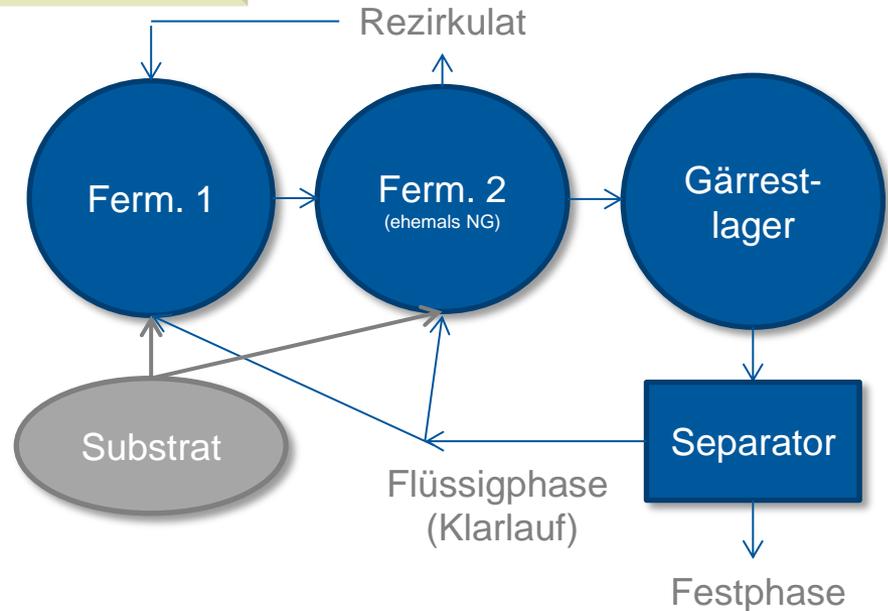


Probenanalyse

Fallbeispiel 1



Fallbeispiel 1



- » mesophil (42 °C)
- » Durchmischung:
 - Fermenter 1: Rührwerk im Außenumlauf
 - Fermenter 2: zwei interne Rührwerke
- » Substratmix:
 - 30 % Rindermist
 - 40 % Maissilage
 - 40 % Grassilage

Fallbeispiel 1

	Fermenter 1	Fermenter 2
TS [%]	10,4	9,7
oTS [% TS]	81	79
FOS/TAC [-]	0,25	0,23
NH ₄ -N [mg/L]	704	798
Acetat [mg/L]	295	37
Propionat [mg/L]	58	18
Butyrat [mg/L]	<1	<1



Nutzung der Schaumtests



Fallbeispiel 2

NawaRo-BGA in Brandenburg



Foto: Fred Schulze

Fallbeispiel 2

NawaRo-BGA in Brandenburg

- » mesophil (38 - 41 °C)
- » Durchmischung:
 - vier interne Rührwerke
- » Substratmix:
 - 25 t / d Rindergülle
 - 23 t / d Maissilage
 - 2 t / d Roggenschrot
- » 30 – 40 L / d Rapsöl und
8 - 20 L / d kommerzielles Antischaummittel (ca. 5 €/L)
(im Extremfall 80 L/d !)



	Fermenter
TS [%]	7,0
oTS [% TS]	80
FOS/TAC [-]	0,11
NH ₄ -N [mg/L]	1.825
Acetat [mg/L]	<1
Propionat [mg/L]	<1
Butyrat [mg/L]	<1

Getreide

Abhängigkeit der Intensität der Schaumbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns

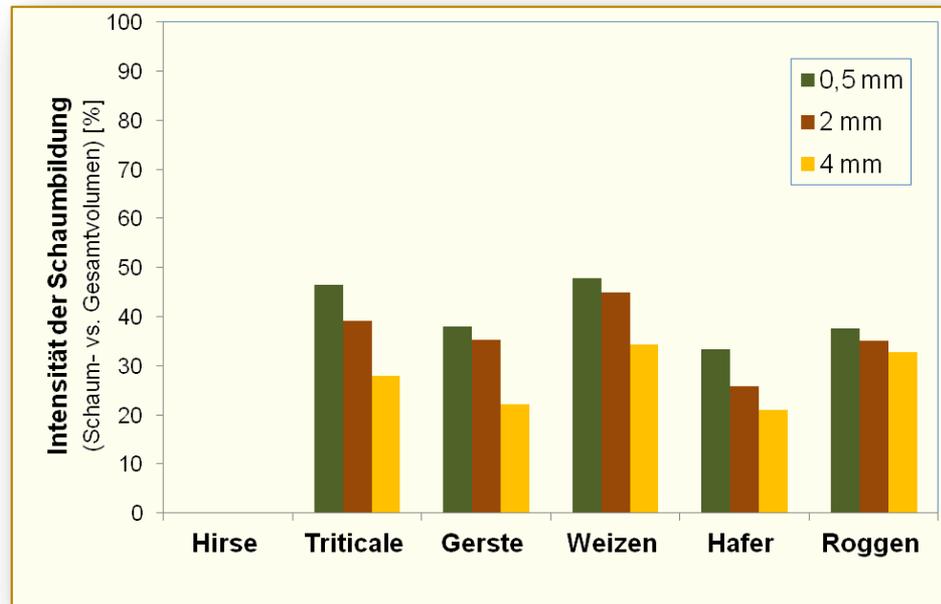


Gärmaterial aus einer NawaRo-Anlage mit Triticaleschrot (0,5 mm, 1 mm, 2 mm und 4 mm) und -korn

Moeller, L., Krieg, F., Zehndorf, A. (2013) Wirkung von Getreideschrot auf die Schaumbildung in Biogasanlagen. Landtechnik 68 (5) 344-348.

Getreide

Abhängigkeit der Intensität der Schaumbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns

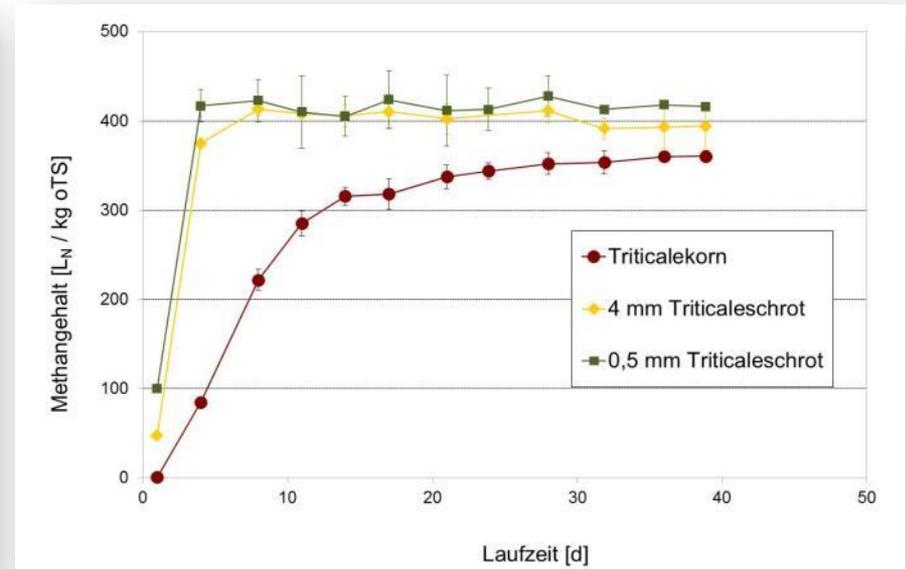
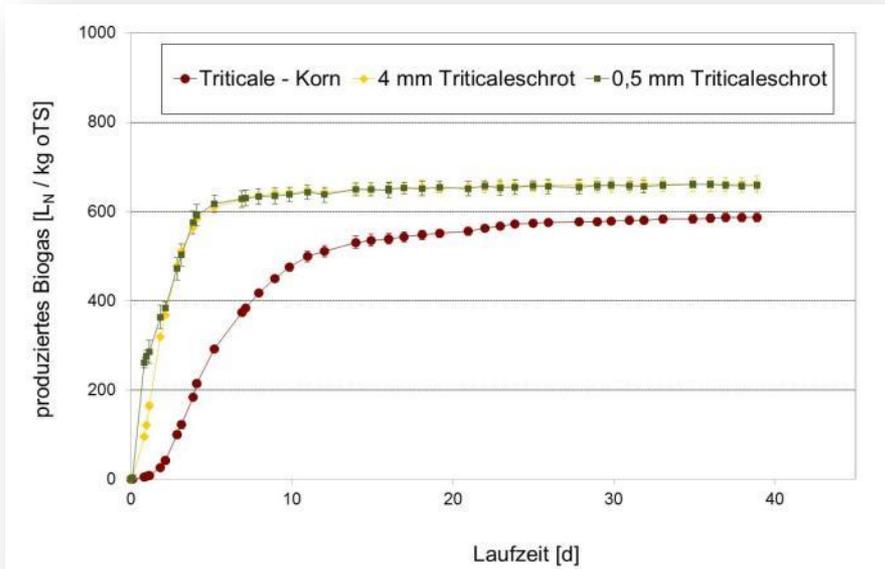


Moeller, L., Krieg, F., Zehnsdorf, A. (2013) Wirkung von Getreideschrot auf die Schaumbildung in Biogasanlagen. Landtechnik 68 (5) 344-348.

Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns:

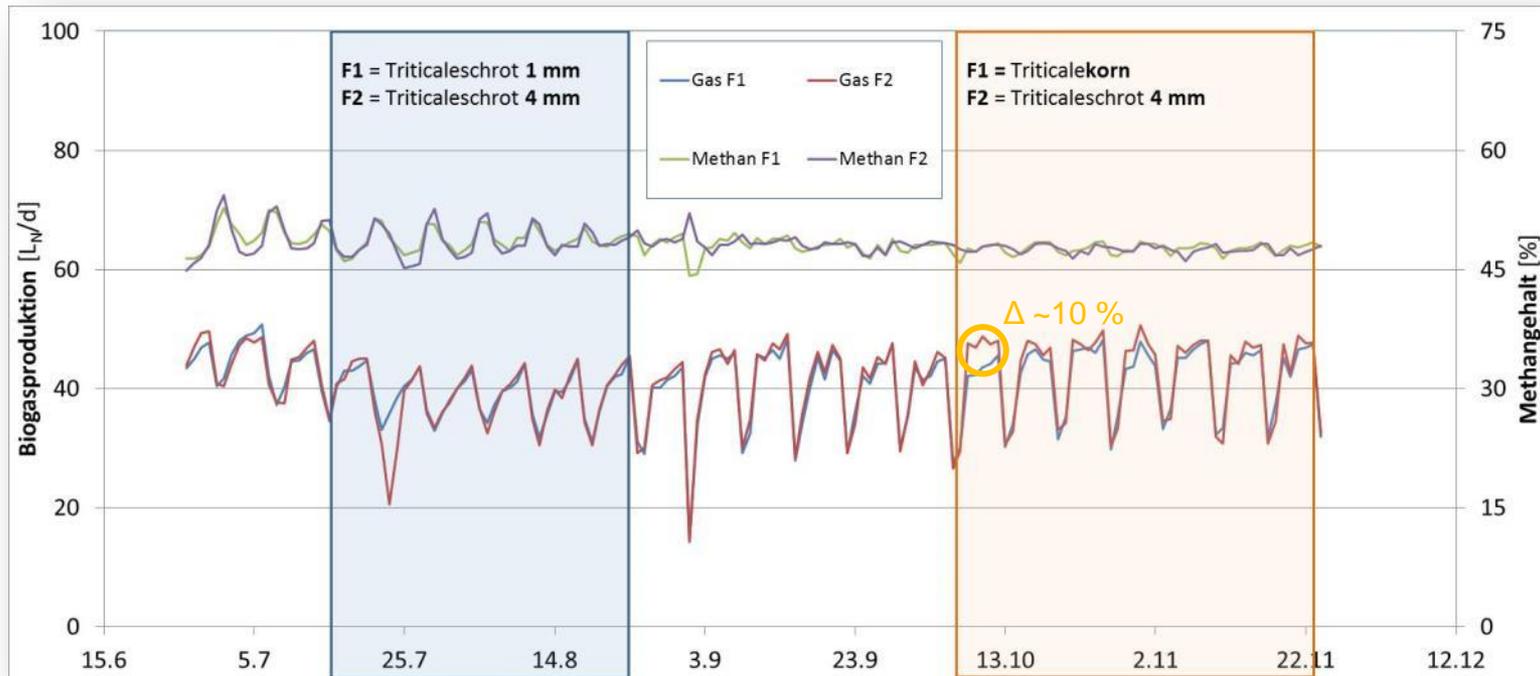
1. batch-Versuche (Triticale)



Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns:

2. quasi-kontinuierliche Versuche (Triticale)

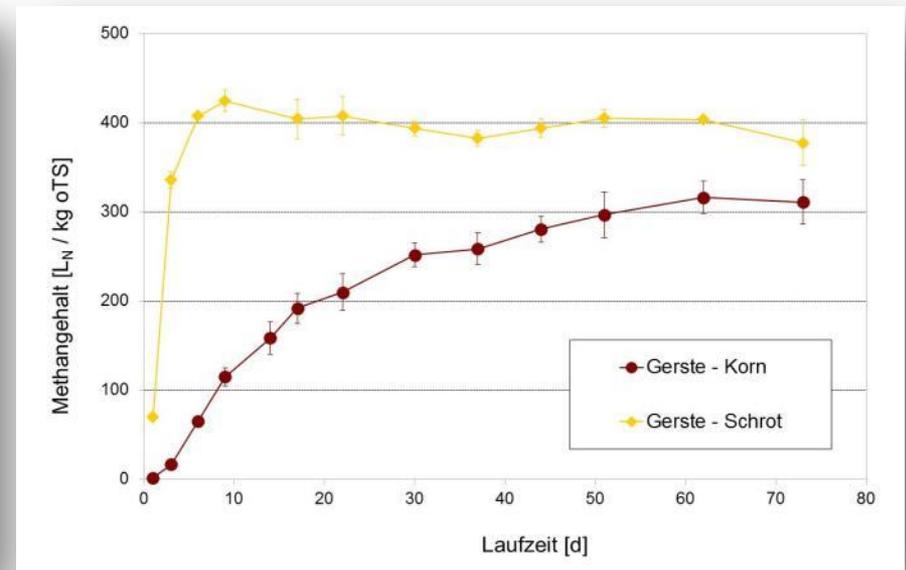
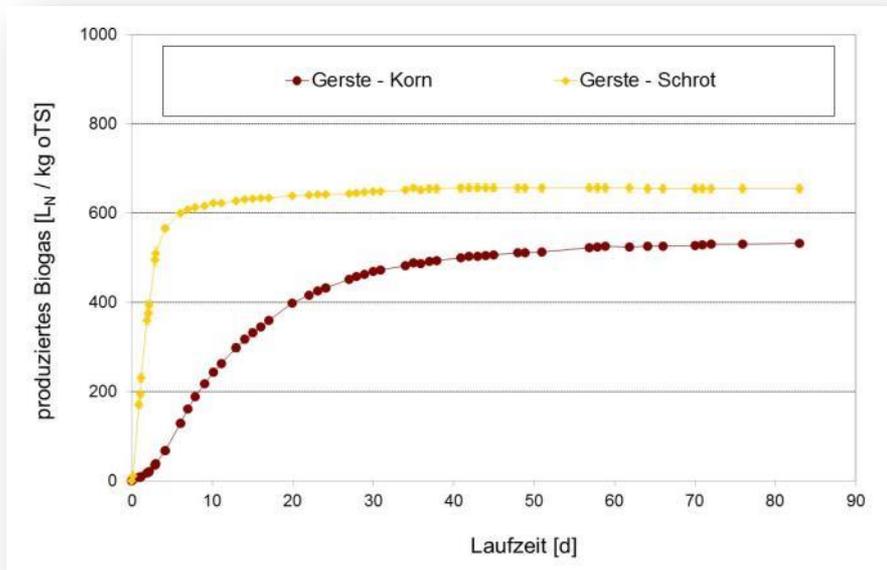


- » 2 parallel laufende Fermenter (à 30 L), mesophil (39 °C)
- » Substrate: Maissilage (73 % TS), Rindergülle (18 % TS), Triticale (9 % TS)

Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns:

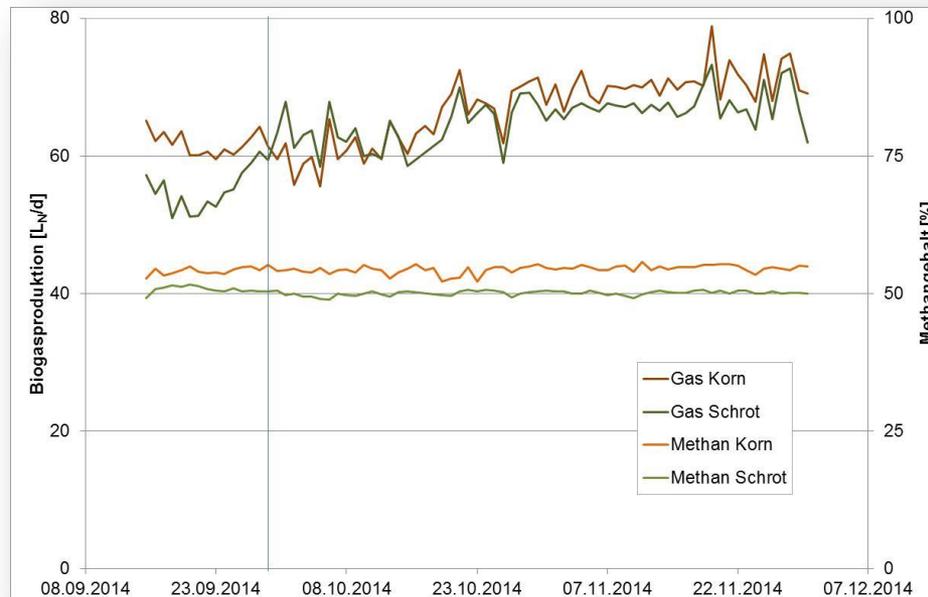
1. batch-Versuche (**Gerste**)



Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns:

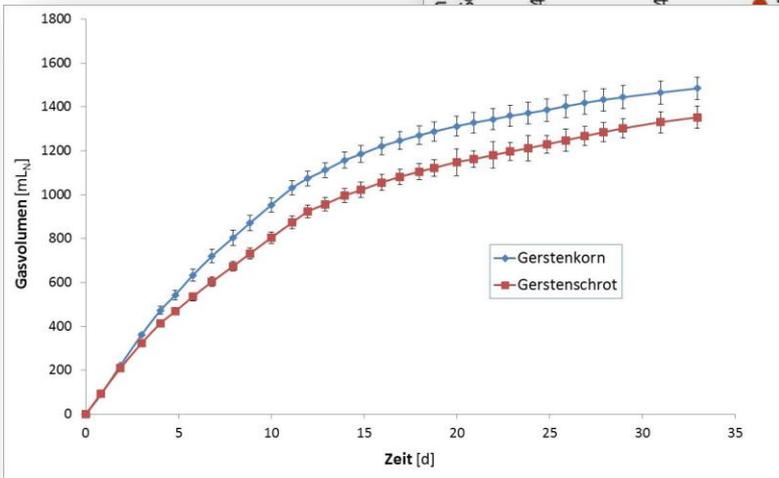
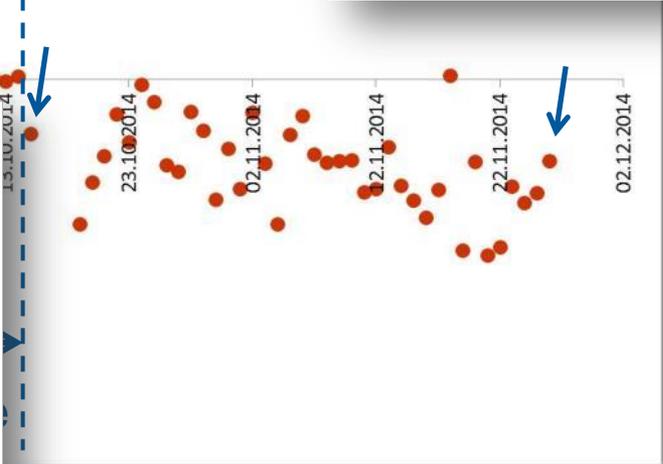
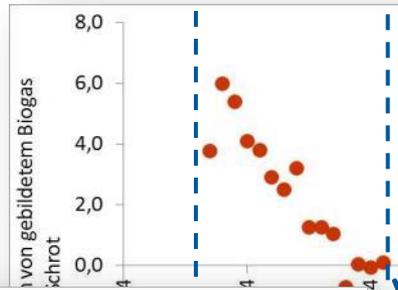
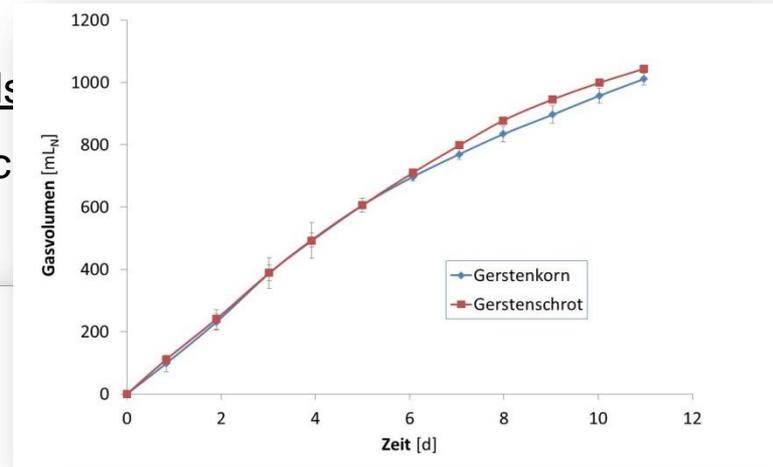
2. quasi-kontinuierliche Versuche (**Gerste**)



- » 2 parallel laufende Fermenter (à 30 L), mesophil (39 °C)
- » Substrate: Maissilage (67 % TS), Rindergülle (9 % TS), Gerste (17 % TS)

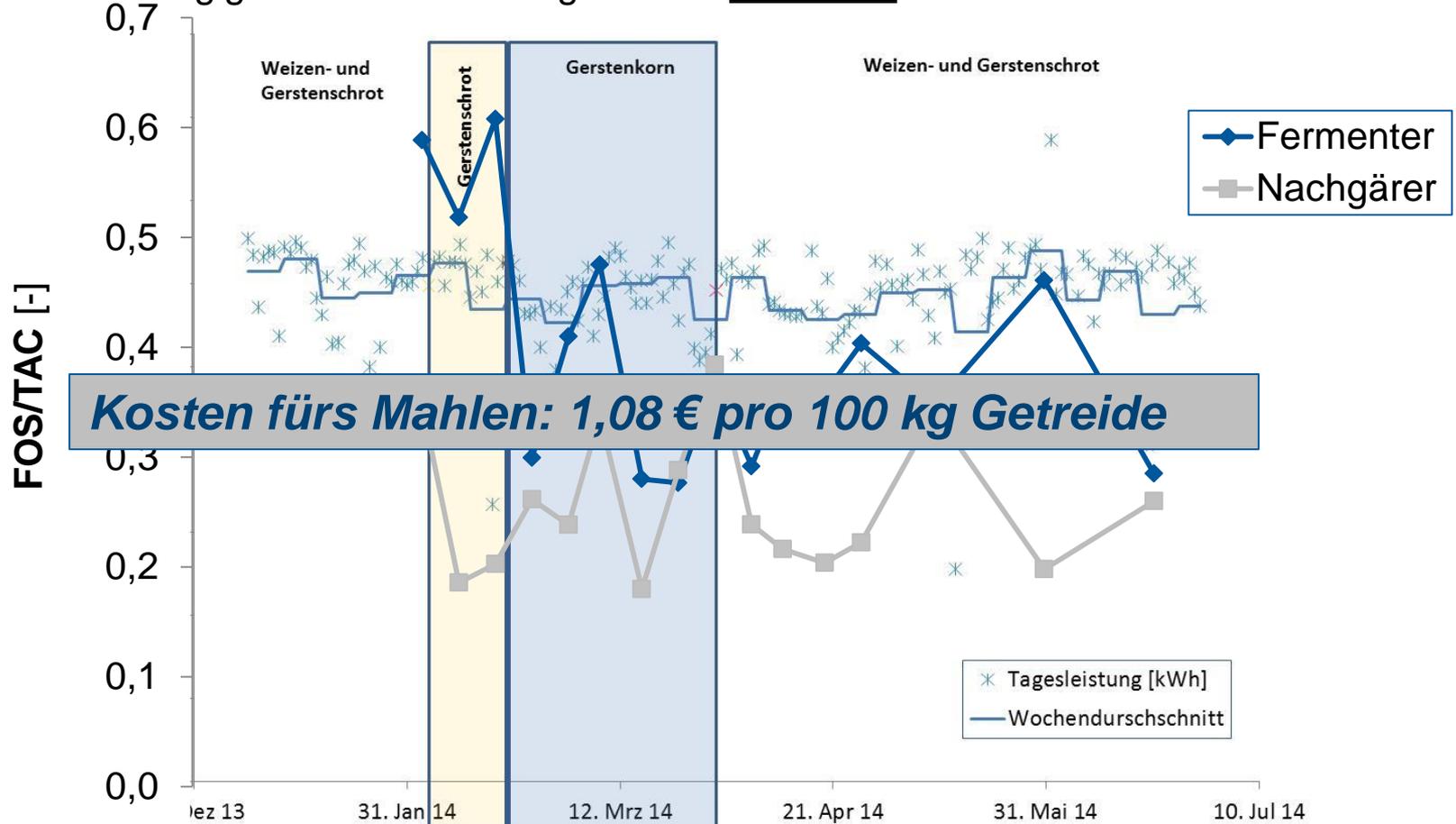
Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlgrad
 2. quasi-kontinuierliche Versuch

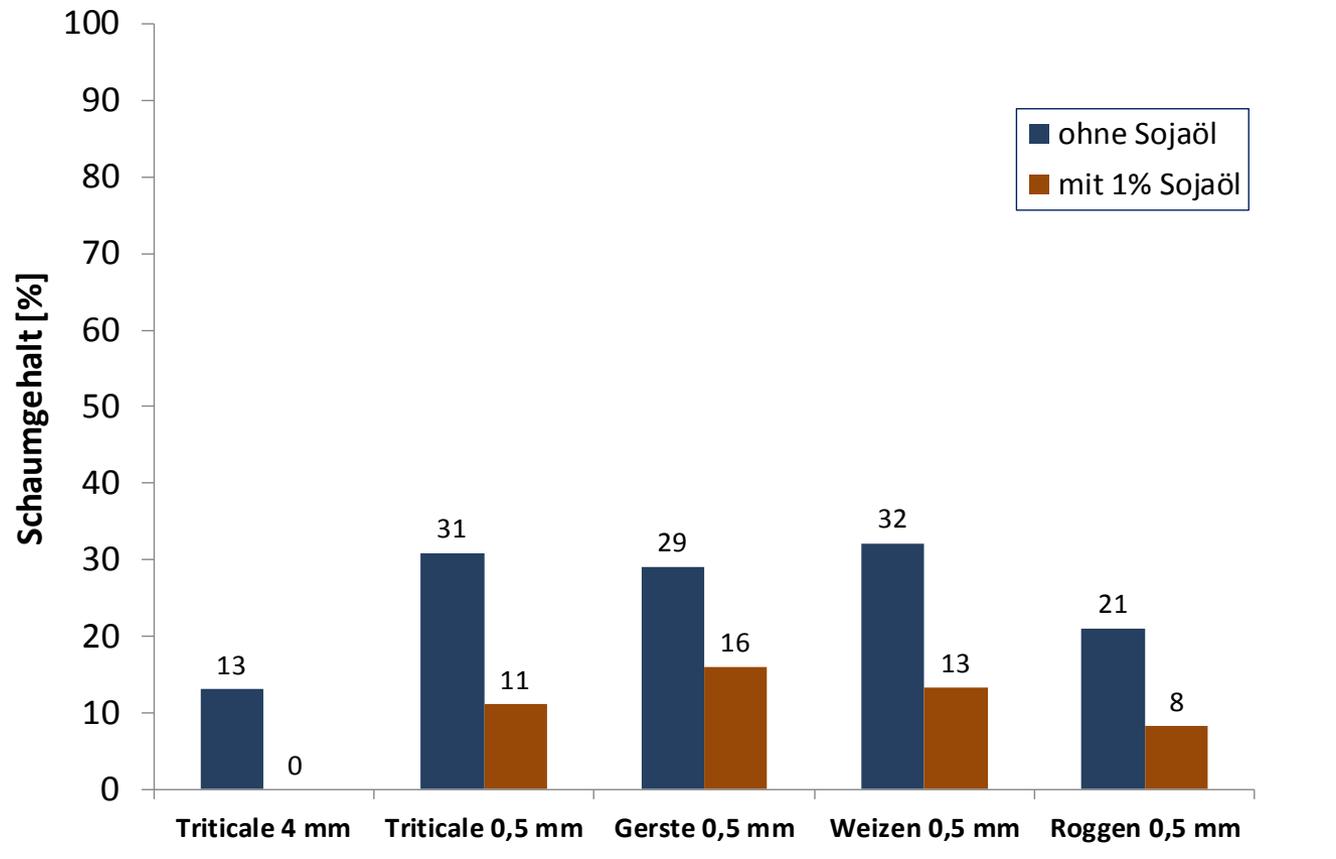


Getreide

Abhängigkeit der Gasbildung von der Mahlstufe des Getreidekorns:



Getreide



Fallbeispiel 3

	Fermenter	Nachgärer
TS [%]	7,9	5,9
oTS [% TS]	80,6	76,3
FOS/TAC [-]	0,21	0,16
NH ₄ -N [mg/L]	1.188	2.002
Acetat [mg/L]	491	38
Propionat [mg/L]	97,8	<1
Butyrat [mg/L]	<1	<1

» Schaum:

“Schaum kommt NUR wenn Zuckerrübe gefüttert wird (August bis Februar) UND wenn bei Kühen mehrmals pro Woche gesäubert wird“

- Maßnahme: Dauerrühren

Zuckerrübe

1. Abhängigkeit der Intensität der Schaumbildung von Zerkleinerungsgrad der Rübe

Zuckerrübe

Schaumanteil:
(= Schaumhöhe vs. Gesamthöhe) [%]



Versuchsdurchführung:
40 g Zuckerrübe + 460 g
Digestat (NawaRo-BGA);
37 °C (Wasserbad),
Versuchsdauer: 20,5 h.

Moeller et al.: Foam
formation in biogas plants
caused by anaerobic
digestion of sugar beet.
Bioresource Technology
2015, 178, 270-277

1 cm

0,5 cm

gerieben

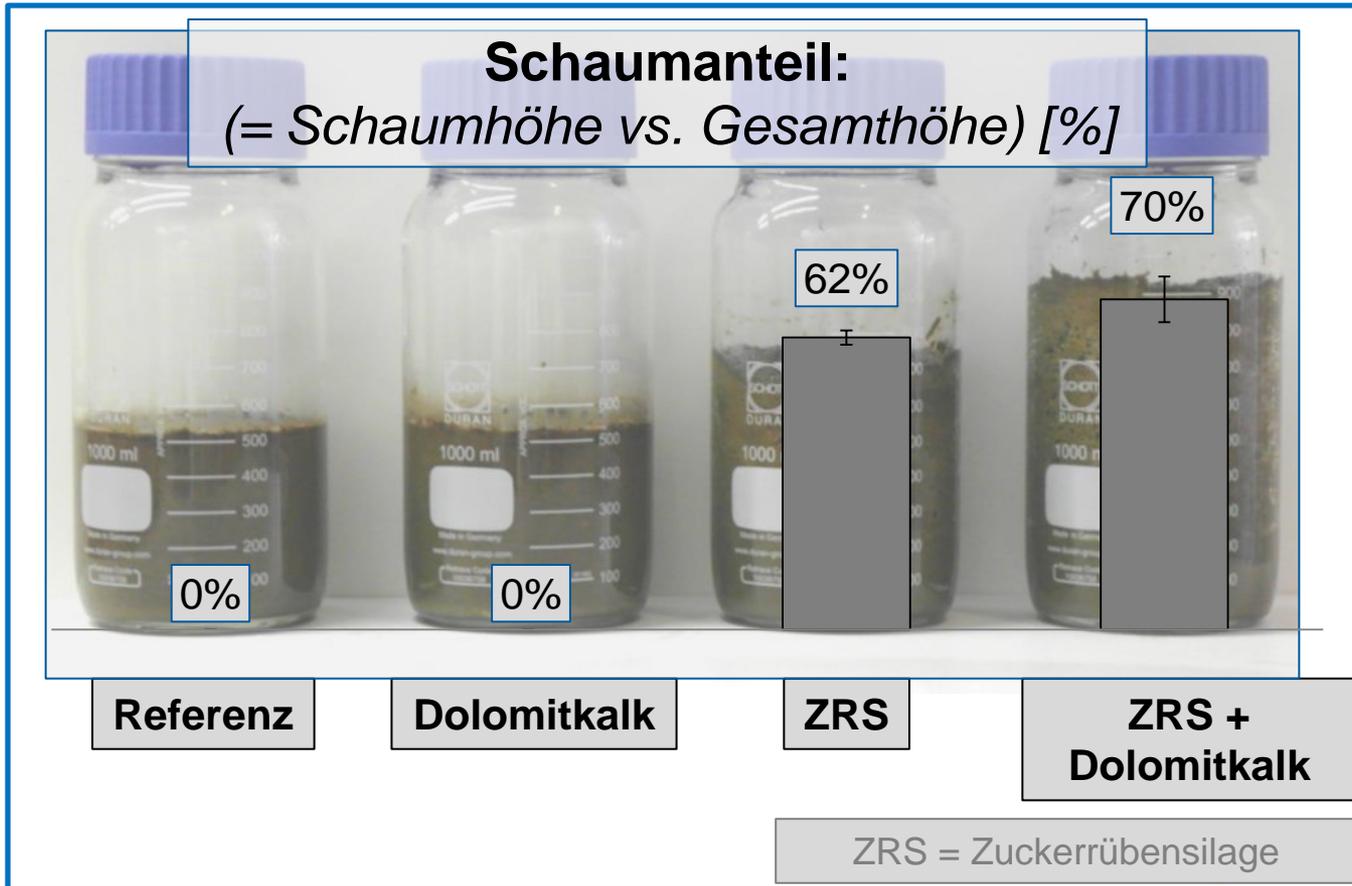


Zuckerrübenzerkleinerung

Zuckerrübe

2. Abhängigkeit der Intensität der Schaumbildung von Chemikalien in der Tierzuchthaltung

Zuckerrübe



Versuchsdurchführung: 40 g Zuckerrübe + 460 g Digestat (NawaRo-BGA);
37 °C (Wasserbad), Versuchsdauer: 19 h.

Moeller et al.: Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology* 2015, 178, 270-277

Zuckerrübe

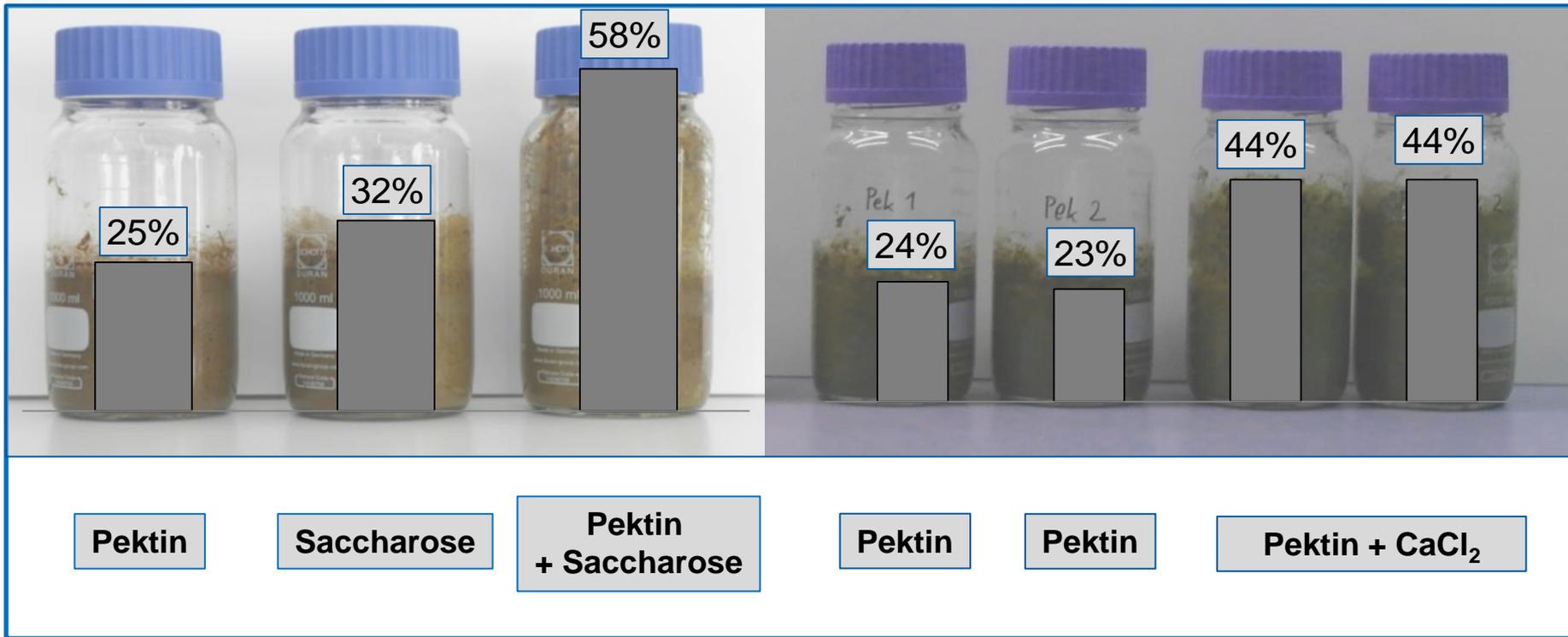
Schaumeigenschaften:

	Gärrest	Schaum	Referenz
Kohlenhydrate [g/L]	0,97 ± 0,03	4,28 ± 0,37	0,88
Pektin [g _{GA} /kg]	0,50 ± 0,004	0,71 ± 0,09	0,37
Acetat [g/L]	4,25 ± 0,26	2,24 ± 0,66	0,11
Propionat [g/L]	3,27 ± 0,10	1,86 ± 0,46	0,09
Butyrat [g/L]	0,83 ± 0,06	0,45 ± 0,17	0,03

Moeller, L., Lehnig, M., Schenk, J., Zehnsdorf, A.: Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology* 2015, 178, 270-277

Zuckerrübe

Interaktion von Pektin mit anderen Stoffen im Digestat

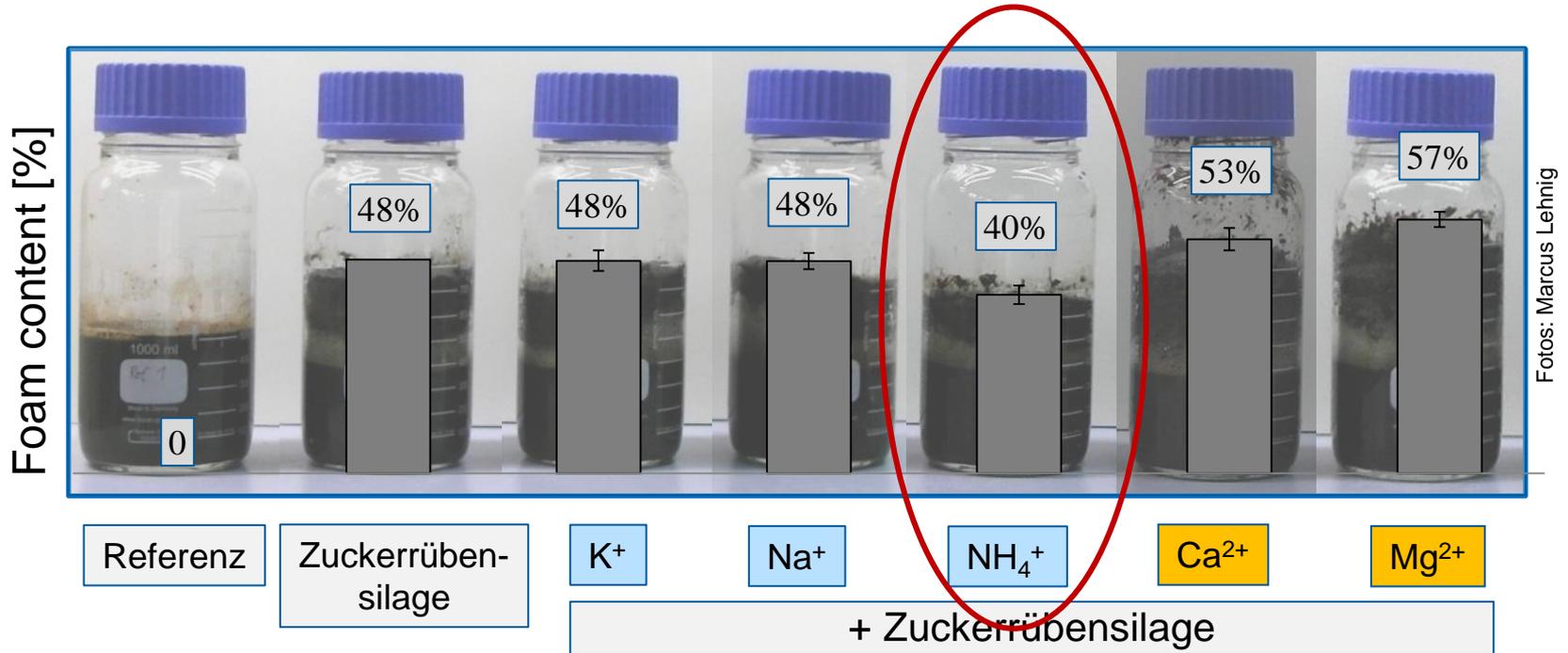


Versuchsdurchführung: 10 g Pektin/Sacharose/Pektin+Saccharose/Pektin+CaCl₂ + 490 g Digestat (NawaRo-BGA); 37 °C (Wasserbad), Versuchsdauer: 21 h.

Moeller, L., Lehnig, M., Schenk, J., Zehnsdorf, A.: Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology* 2015, 178, 270-277

Zuckerrübe

Interaktion von Pektin mit Ionen unterschiedlicher Wertigkeit



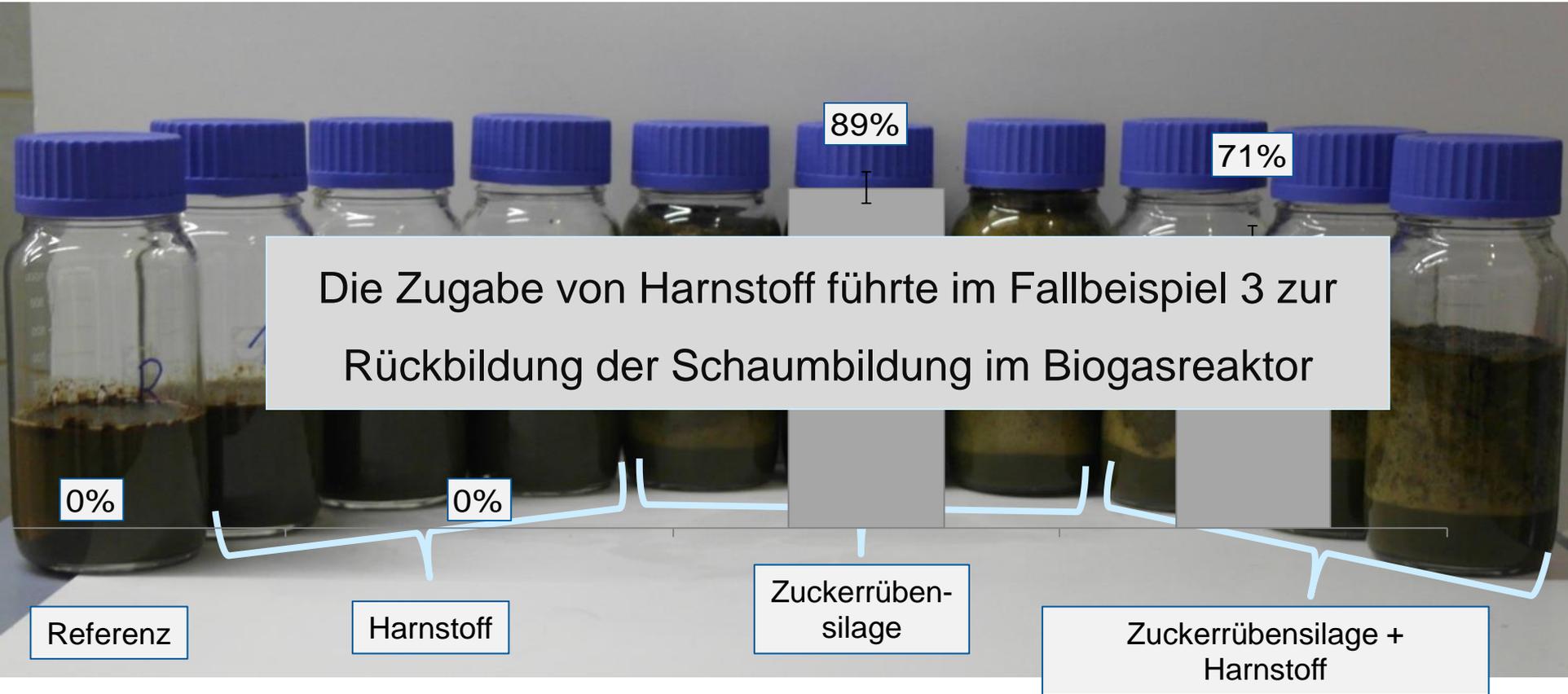
Versuchsdurchführung: 40 g Zuckerrübensilage + 460 g Digestat + 5 g Salze; 37 °C (Wasserbad), Versuchsdauer: 20 h.

Moeller, L., Lehnig, M., Schenk, J., Zehndorf, A.: Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology* 2015, 178, 270-277

Zuckerrübe

3. Abhängigkeit der Intensität der Schaumbildung von C/N-Verhältnis im Biogasfermenter

Zuckerrübe



Moeller, L., Lehnig, M., Schenk, J., Zehndorf, A.: Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. *Bioresource Technology* 2015, 178, 270-277

Zusammenfassung

- Schaumbildung im Prozess der anaeroben Vergärung ist ein häufiges Phänomen
- Schaum in Biogasanlagen entsteht als Folge von:
 - **ungeeigneter Prozessführung**
 - der Nutzung von **risikoreichen Substraten**
- **Getreide:**
 - Intensität der Schaumbildung hängt von Mahlgrad ab
 - Schaumbildung kann durch Zugabe von Pflanzenöl beim Schrotten vorgebeugt werden
- **Zuckerrübe:**
 - Intensität der Schaumbildung hängt von Zerkleinerungsgrad ab
 - Schaumbildung kann durch Zugabe von
 - Dolomitkalk intensiviert werden
 - N-haltigen Substanzen minimiert werden

Dank an:

- Firmen Eismann & Stöbe GbR, UIT Dresden GmbH
- AG Bioprozesstechnik (UFZ)
- Grit Weichert, André Künzelmann, Wolfgang Rudolph, uvm.
- Projektpartner (GFZ Potsdam, DBFZ, TU Berlin, KIT)



- BMU (Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“) und Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft



Foto: André Künzelmann, UFZ

