



**“8. Mitteldeutscher  
Bioenergietag”**  
22. November 2011 in Colditz



## Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung

*Hans Oechsner, Andreas Lemmer*  
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie,  
Universität Hohenheim



## Ansatzpunkte zur Steigerung der Effizienz der Biogastechnologie



- Steigerung der Flächenerträge und Energieeffizienz der Biomasseproduktion
- Verlustarme Lagerung bis zur Nutzung
- Hoher Wirkungsgrad bei der fermentativen Umwandlung der Biomasse zu Biogas
- Bestmögliche Nutzung der erzeugten Gase
  - BHKW
  - Gasreinigung






8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Ansatzpunkte zur Effizienzsteigerung bei der fermentativen Produktion von Biogas:

- **Substratqualität**
- **Aufbereitung der Biomasse**
  - Mechanisch
  - Biologisch
- **Prozessstabilisierung**
  - Prozessüberwachung
  - Prozesshilfsstoffe
- **Optimierung der Anlagentechnik**
  - Betriebsweise
  - Prozessgestaltung




8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

6

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 


## Inhaltstoffe und abbaubarer Anteil

**Mais - Restpflanze**



Component	Percentage
Stärke + Lösliche Zucker	27%
Hemizellulose	28%
Zellulose	32%
Lignin	4%
Protein	7%
Fett	2%


**Mais - Kolben**

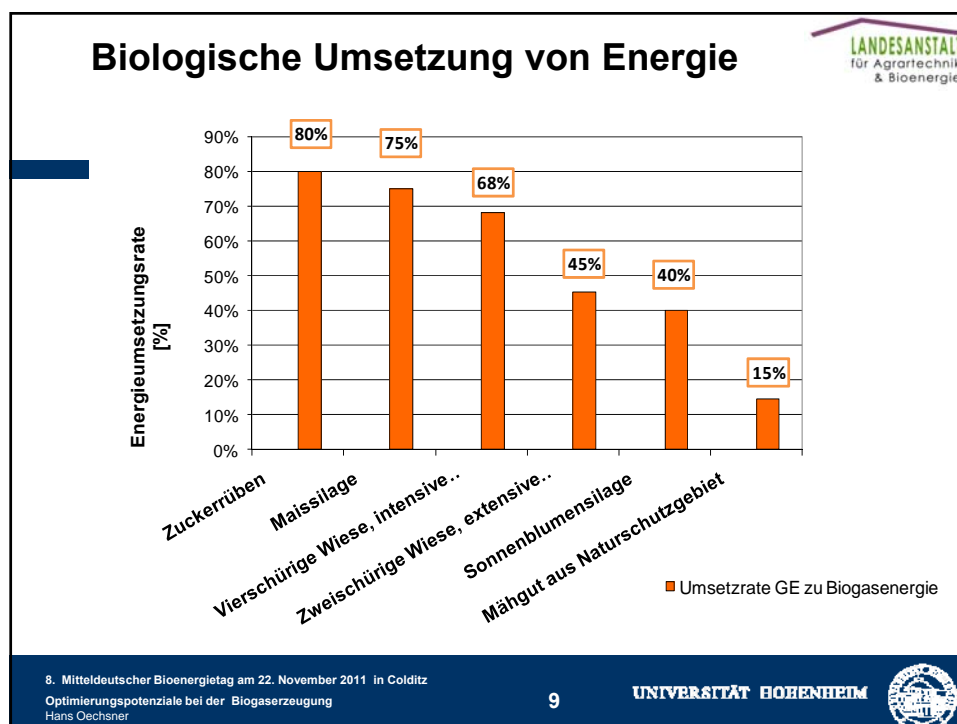
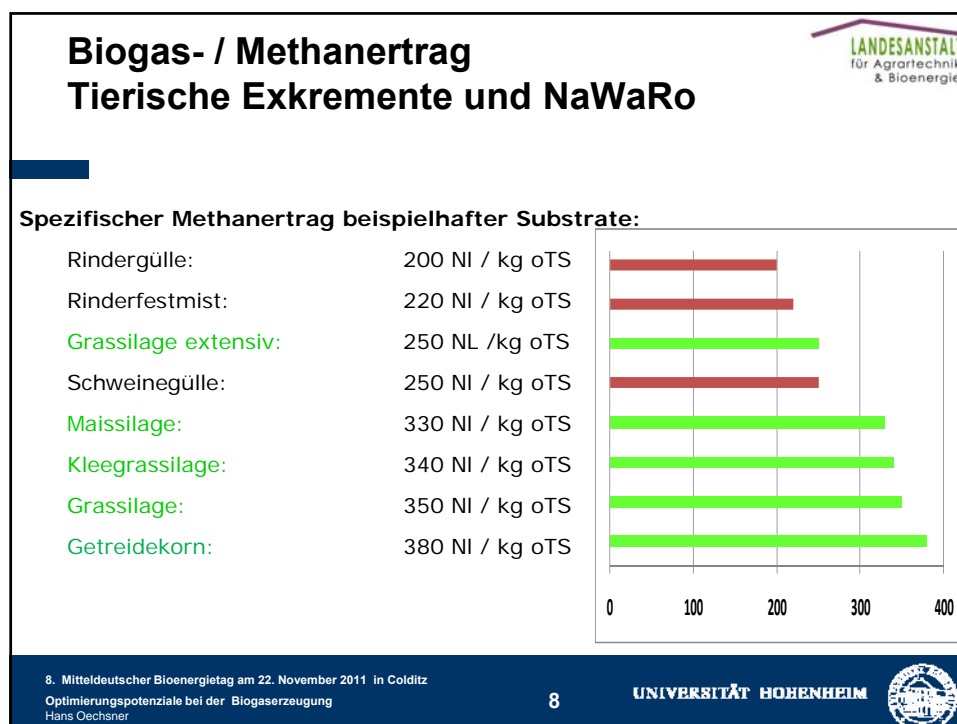


Component	Percentage
Stärke + Lösliche Zucker	64%
Hemizellulose	14%
Zellulose	8%
Lignin	1%
Protein	9%
Fett	4%

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

7

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 



LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Ansatzpunkte zur Effizienzsteigerung bei der fermentativen Produktion von Biogas:

- Substratqualität
- **Aufbereitung der Biomasse**
  - Mechanisch
  - Biologisch
- Prozessstabilisierung
  - Prozessüberwachung
  - Prozesshilfsstoffe
- Optimierung der Anlagentechnik
  - Betriebsweise
  - Prozessgestaltung



8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

10

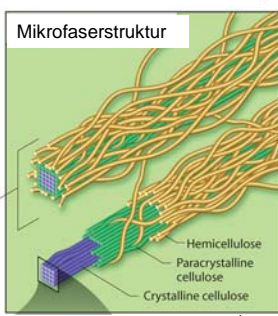
UNIVERSITÄT HOHENHEIM 

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Substrataufbereitung

- Pflanzen oder Pflanzenteile mit hohem Faseranteil
- Lignozellulose – erschwerter Abbau
- **Kann Aufbereitung anaerobe Abbaubarkeit verbessern?**

physikalisch		
mechanisch	thermisch	chemisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scherung</li> <li>• Prall</li> <li>• Druck</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heißwasser</li> <li>• Heißdampf</li> <li>• Thermodruckhydrolyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Säure</li> <li>• Lauge</li> <li>• Oxidationsmittel</li> </ul>




biologisch

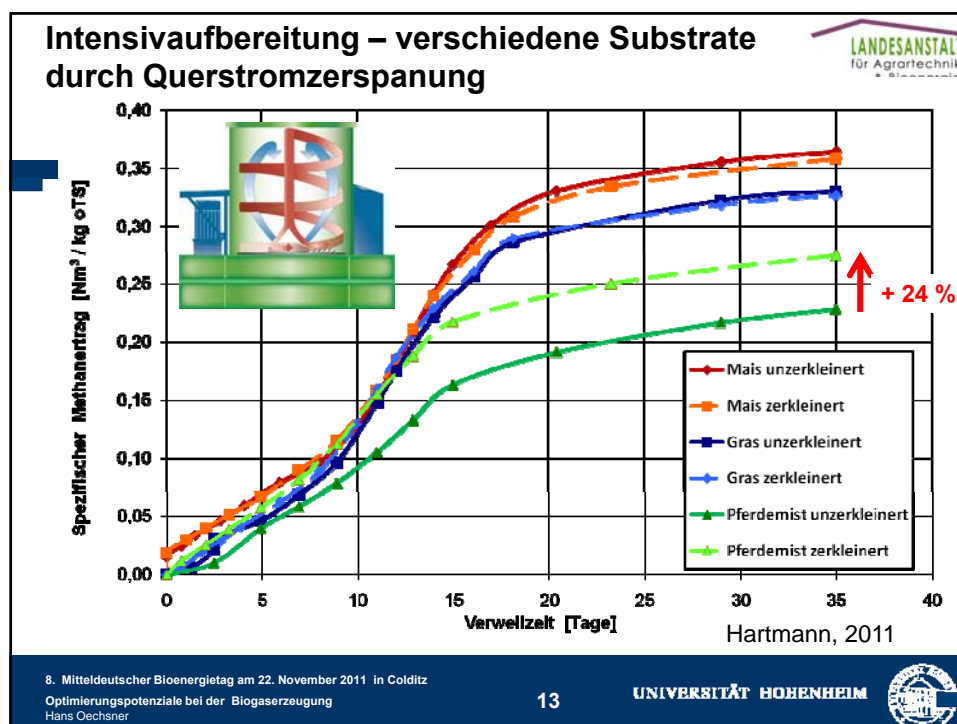
- Enzyme

Schwarz et al., 2009

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

11

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 



### Enzyme im Biogasprozess

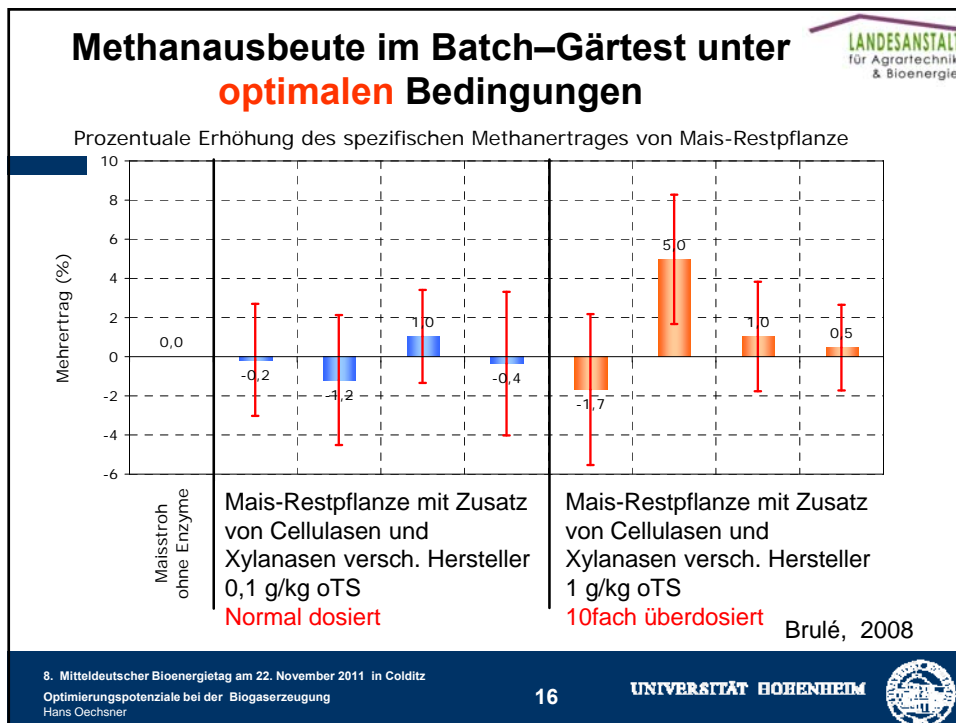
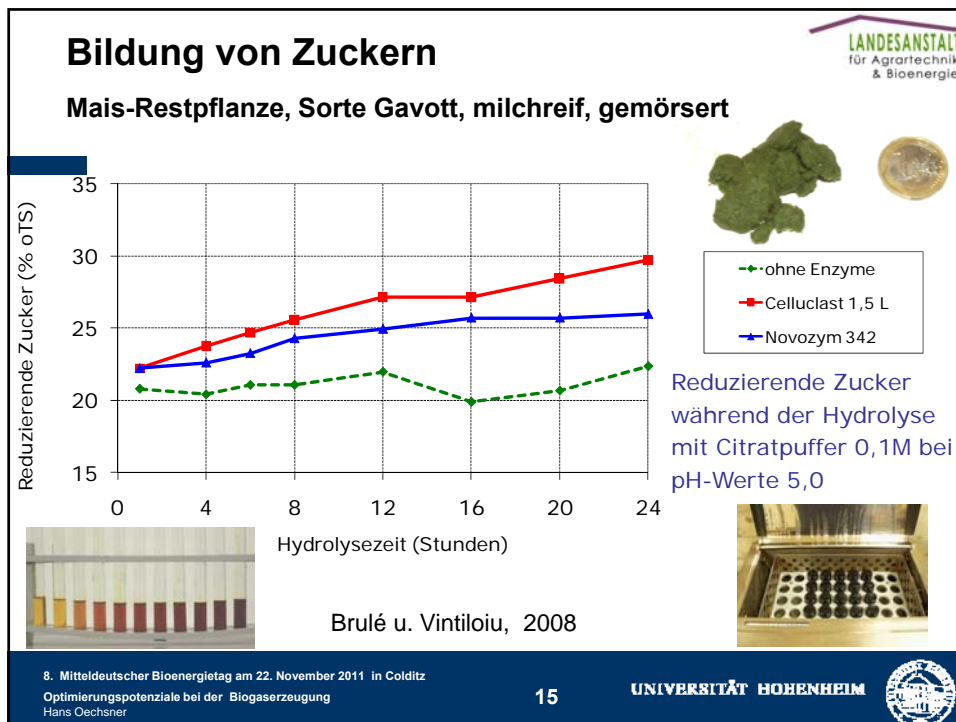
LANDESANSTALT für Agrartechnik & Bioenergie


Quelle: <http://genomics.energy.gov>, Genome programs of the US department of Energy Office of Science

- Enzyme sind biologische Katalysatoren
- Mithilfe von Enzymen sollen Polysaccharide (Gerüstsubstanzen) gespalten werden
- Lignozellulose soll für Mikroorganismen zugängliche gemacht werden
- Wirksamkeit von Enzymen in der Industrie für spezielle Anwendungen ist unumstritten
- Lässt sich deren Wirkung auch im Biogasprozess belegen?

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

14 UNIVERSITÄT HOHENHEIM






## Zwischenfazit - Substrataufbereitung

**soll die Abbaubarkeit der Stoffe erhöhen:  
Höhere Biogaserträge bei gleicher Einsatzmenge**

- **Mechanische Substrataufbereitung:**
  - Keine höhere Biogasausbeute bei „grüner Biomasse“
  - Bis zu 30 % Ertragssteigerung bei Pferdemist und Stroh
  - Energiebedarf für Zerkleinerung?
  - Reduzierter Energiebedarf für Rühren?
- **Biologische Substrataufbereitung – Enzyme**
  - Wirkung bei optimalen Prozessen gering
  - Bei suboptimaler Aktivität der nativen Enzyme
  - Schwimmschichten, Rühraufwand beeinflusst?
  - Zweiphasige Vergärung?

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

17





## Ansatzpunkte zur Effizienzsteigerung bei der fermentativen Produktion von Biogas:

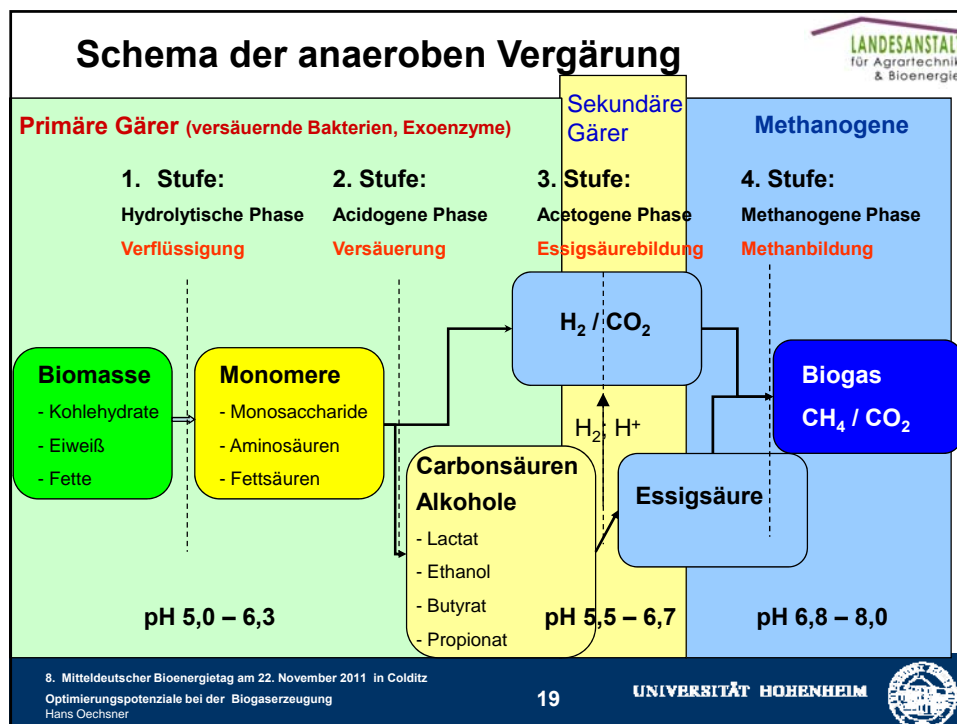
- **Substratqualität**
- **Aufbereitung der Biomasse**
  - Mechanisch
  - Biologisch
- **Prozessstabilisierung**
  - Prozessüberwachung
  - Prozesshilfsstoffe
- **Optimierung der Anlagentechnik**
  - Betriebsweise
  - Prozessgestaltung




8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

18






### Prozesskontrolle unerlässlich



- Biologische Prozessstörungen führen zu einer schlechten Substratausnutzung durch unzureichende Umsetzung der Einsatzstoffe und Produktionsausfall
- **Prozesskontrolle ist unerlässlich**, um verfügbares Fermentervolumen optimal nutzen zu können
- Kontrollparameter:
  - Inputmenge und -Qualität,
  - Biogasmenge und -Qualität, Stromproduktion
  - Fettsäurekonzentration, Pufferkapazität

**=> Bisher Probenahme und Untersuchung im Labor erforderlich**

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 



## Neuer Ansatz der Prozesskontrolle: NIRS - Online-Messsystem

**LANDESANSTALT**  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

### Entwicklung eines Kalibrationsmodells

Einer Laboranalyse werden 300 Einzelspektren pro Minute über einen Zeitstempel zugewiesen

TENIRS, Stockl 2009

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

**22**

**UNIVERSITÄT HOHENHEIM**

## NIRS - Online-Messsystem

**LANDESANSTALT**  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

### A Thermophiler Fermenter, 52 °C

$y = 0,942x + 323$   
 $R^2 = 0,964$

### C Mesophiler Fermenter, 42 °C

$y = 0,968x + 169$   
 $R^2 = 0,993$

**A:** Summe der FFS verrechnet zum Essigsäureäquivalent → **Kalibrierung**

**C:** Summe der FFS verrechnet zum Essigsäureäquivalent → **Kalibrierung**

Stockl, 2011

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

**23**

**UNIVERSITÄT HOHENHEIM**

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie


## Was passiert, wenn eine biologische Prozessstörung erkannt wurde?

Erhebliche Erkenntnisgewinne in den vergangenen Jahren über die Prozessbiologie, z.B. Mineralstoffbedarf

- Methanogene Mikroorganismen haben einen speziellen Bedarf an Mikronährstoffen, insbesondere Ni, Co, Mo, Se, Fe
- Spurenelementmangel führt zu einer Destabilisierung des Gärprozesses
- Konzentrationen organischer Säuren im Fermenter steigt
- Biogasproduktion sinkt erheblich!

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

24

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 

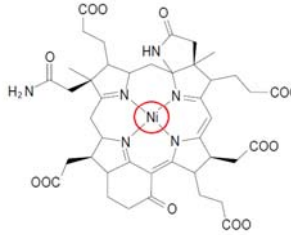
LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Spurenelemente erfüllen wichtige Funktionen im Biogasprozess

Sie sind am Aufbau von Koenzymen und Kofaktoren maßgeblich beteiligt


- Bisher sind 7 Koenzyme bekannt, die im Biogasprozess eine wichtige Rolle spielen (Bauer, et al, 2009)
- Oxidierte Formen dienen als Elektronenakzeptoren (z.B. Eisenoxid, Manganoxid) (Pickering, 1986)
- Reduzieren die Sulfidtoxizität
- Stimulieren das methanogene Wachstum (Oleschkiewicz u. Scharma, 1990)

**Kofaktor F<sub>430</sub>**  
Nickel als Zentralatom  
(rot eingekreist)



8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

25

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 

## Vergärung reiner Maissilage **ohne** Güllezusatz

**LANDESANSTALT**  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

Versuche im Biogaslabor  
15 Fermenter à 17 l  
Mesophiler Betrieb, 37°C  
OLR 2,5 kg oTS/m<sup>3</sup>\*d  
HRT 40 d

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

26

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

## Vergärung reiner Maissilage **ohne** Güllezusatz

**LANDESANSTALT**  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

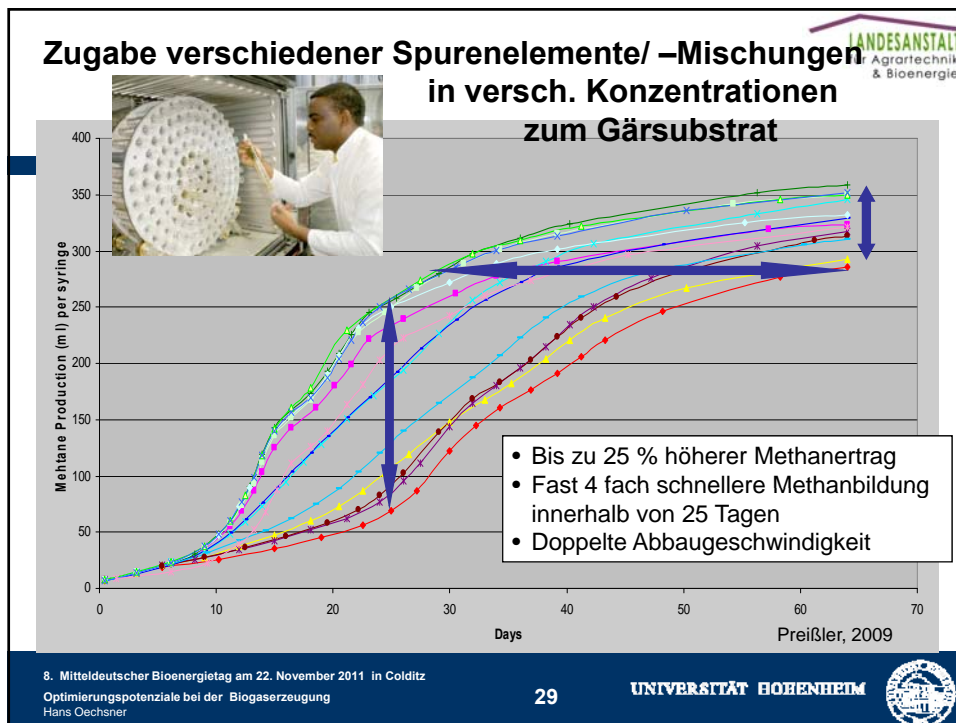
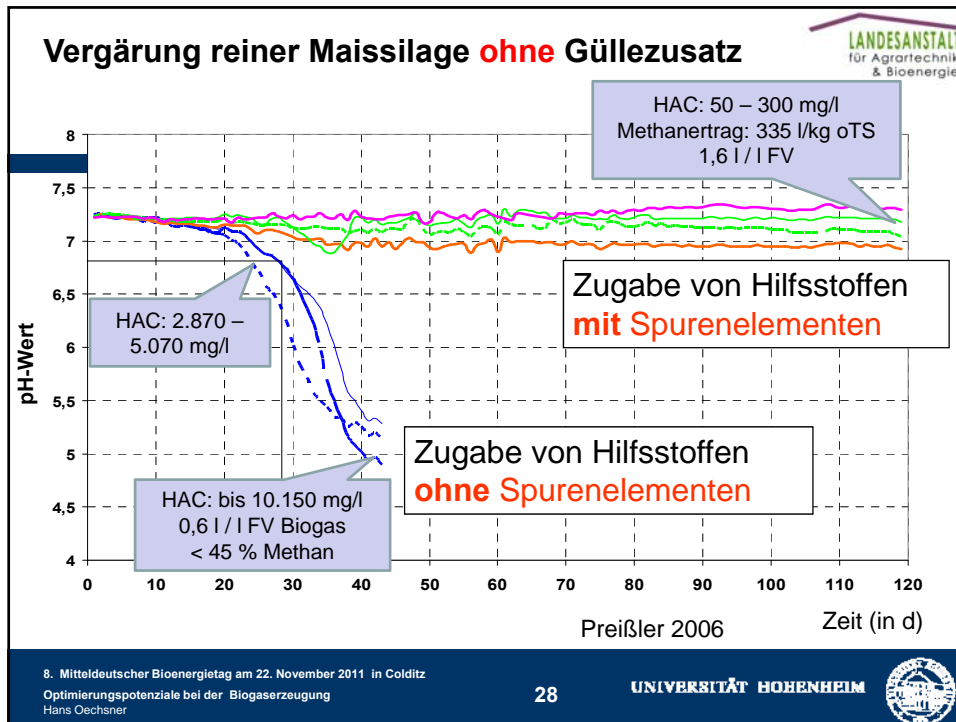
Versuche im Biogaslabor  
15 Fermenter à 17 l  
Mesophiler Betrieb, 37°C  
OLR 2,5 kg oTS/m<sup>3</sup>\*d  
HRT 40 d

Variante	Zugesetzte Substrate
<b>Kontrolle</b>	Maissilage und Wasser
<b>1</b>	Maissilage, Wasser und Puffersubstanz
<b>2</b>	Maissilage, Wasser, Puffersubstanz und Holzfaser
<b>3</b>	Maissilage, Wasser, Puffersubstanz und <b>Spurenelemente</b>
<b>4</b>	Maissilage, Wasser, Harnstoff, <b>Spurenelemente</b> und Holzfaser
<b>5</b>	Maissilage, Wasser, Puffer, <b>Spurenelemente</b> , Harnstoff und Holzfaser


8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

27

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



### Richtwerte der Optimal-Konzentration verschiedener Spurenelemente




	Minimum:	Maximum:
	mg / kg TM	mg / kg TM
<b>Nickel</b>	3,0	16,0
<b>Kobalt</b>	0,4	5,0
<b>Molybdän</b>	1,0	6,0
<b>Selen</b>	0,2	2,0
<b>Eisen</b>	1500	3000
<b>Mangan</b>	100	1500
<b>Wolfram</b>	0,1	30
<b>Zink</b>	30	300

Preißler, Lemmer, Oechsner, 2008


8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

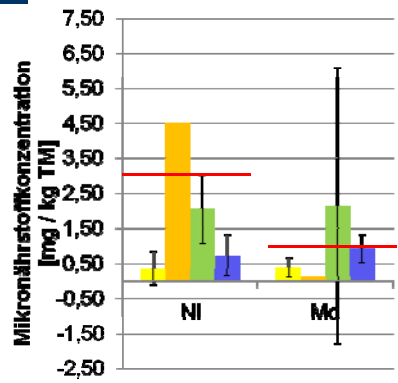
31

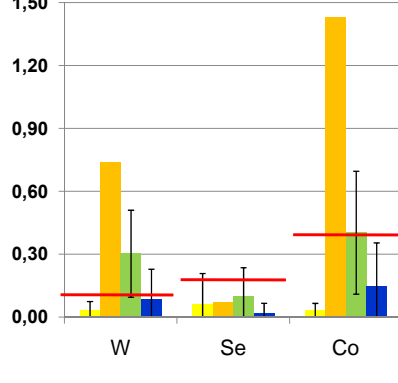


UNIVERSITÄT HOHENHEIM

### Allgemeine Mikro-Nährstoffverteilung in der Pflanze








■ Maissilage   
 ■ Rübenmus   
 ■ Grassilage   
 ■ GPS

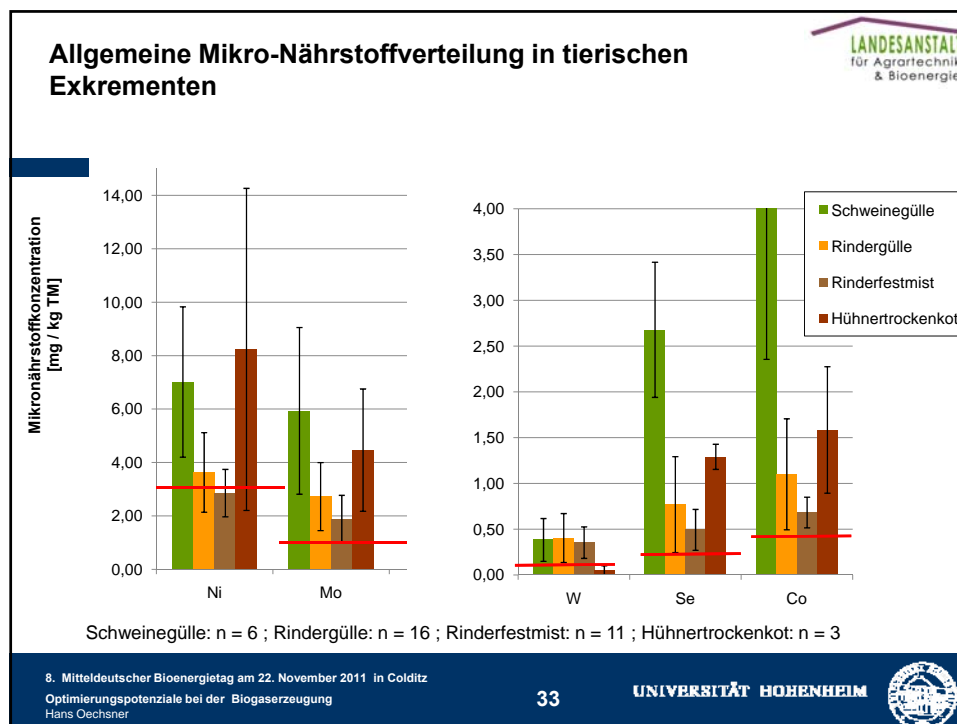
Maissilage: n = 23 ; Rübenmus: n = 1 ; Grassilage: n = 24 ; GPS: n = 6

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

32



UNIVERSITÄT HOHENHEIM



### Zwischenfazit - Prozessstabilisierung

LANDESANSTALT für Agrartechnik & Bioenergie

- **Optimale Prozesskontrolle**
  - erlaubt eine vollständige Ausnutzung des Fermentervolumens
  - Frühzeitige Erkennung von Prozessstörungen
  - Automatisierung des Fermenterbetriebes auf hohem Niveau
  - **Effizienzsteigerung um 20 % denkbar**
- **Spurenelementzusatz**
  - gleicht Mangelzustände aus
  - Optimale Versorgung der Mikroorganismen
  - Schneller, vollständiger Substratabbau
  - Bedarfsgerechter Zusatz unerlässlich (Analyse)
  - **Kann große Effizienzvorteile bringen**

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

34 UNIVERSITÄT HOHENHEIM

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Ansatzpunkte zur Effizienzsteigerung bei der fermentativen Produktion von Biogas:

- **Substratqualität**
- **Aufbereitung der Biomasse**
  - Mechanisch
  - Biologisch
- **Prozessstabilisierung**
  - Prozessüberwachung
  - Prozesshilfsstoffe
- **Optimierung der Anlagentechnik**
  - Betriebsweise
  - Prozessgestaltung



8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

35

UNIVERSITÄT HOHENHEIM 

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie

## Eigenenergiebedarf


Stromproduktion | Elektrische Hilfsenergieaufnahme

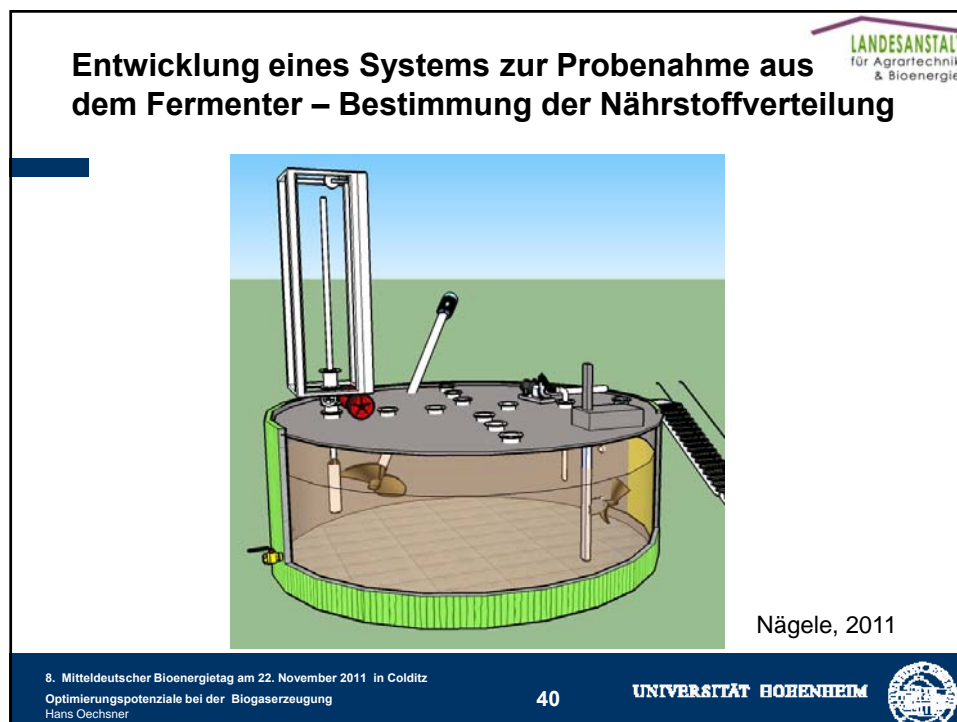
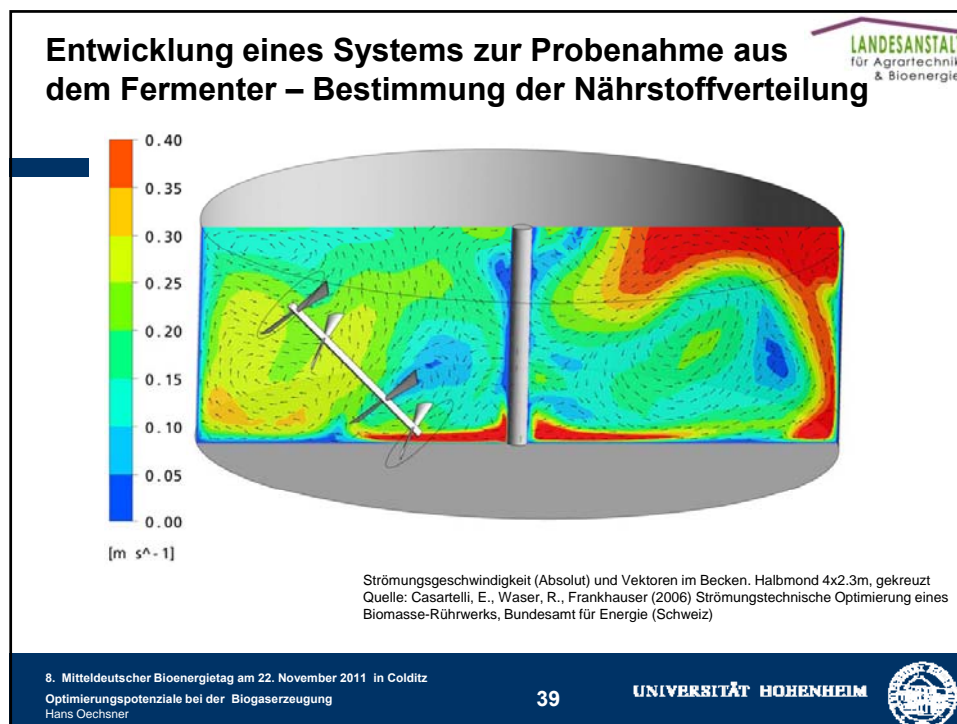
Kategorie	Werte (kWh/d)
Erzeugte elektrische Leistung	4064
Durchschnittstag 2010 (Elektrische Hilfsenergieaufnahme)	343 (100%)
Erzeugung BHKW	217
Gaswertung	115
Licht und Kraft	12
Feststoffeinträge	36
Sonstige	2
Elektrische Hilfsenergieaufnahme BGA	36
Gaswertung	176
Rührwerke	2
Güllepumpe	3

Nägele, 2011

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

36



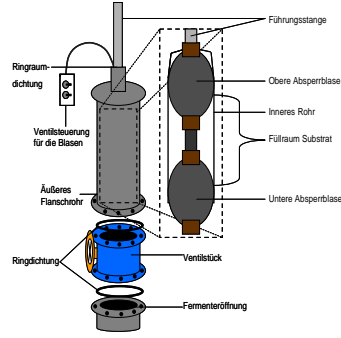
UNIVERSITÄT HOHENHEIM 





## Entwicklung des Probenentnahmesystems

LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie






Nägele, 2011

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

41

UNIVERSITÄT HOHENHEIM




## Aktuelle Forschung:

### Neue Ansätze der Biogas-Anlagentechnik:

- Zweiphasige Vergärung
- Produktion von Biogas mit hohen Methangehalten
- Aufwand zur Reinigung des Biogases sinkt
- Einfache Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz
- Hoher Wirkungsgrad bei der Gasnutzung

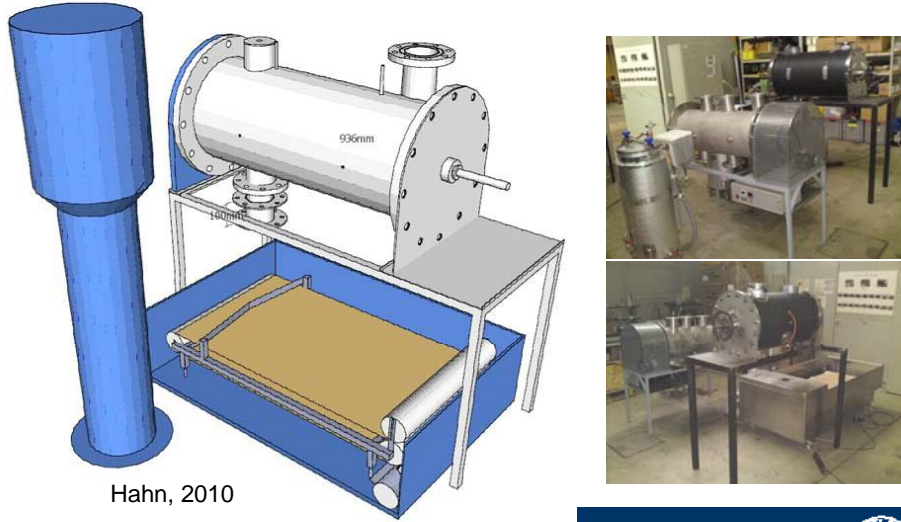
8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



**Bioraffinerie-Modul zum gerichtet - fermentativen Aufschluss von Biomasse für eine kombinierte energetische und stoffliche Verwertung - FABES - Modul**

LANDESANSTALT für Agrartechnik & Bioenergie



Hahn, 2010

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

**Schlussfolgerung**

LANDESANSTALT für Agrartechnik & Bioenergie

Zur Effizienzsteigerung des Biogasprozesses gibt es eine Reihe verfahrenstechnischer Ansätze

- **Mechanischer und biologischer Substrataufschluss:**
  - Abbaubarkeit faserreicher Stoffe wird gesteigert
  - Substratspektrum wird erweitert (Reststoffe wie Pferdemit, Treber, Trester, etc.)
  - Energiebilanz dieser Systeme muss noch geprüft werden
- **Prozessüberwachung:**
  - Online Messtechnik in Kombination mit gezieltem Additiveinsatz kann die Prozessstabilität deutlich steigern
  - Geringes Ausfallrisiko trotz hoher Auslastung!

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

45 UNIVERSITÄT HOHENHEIM

## Schlussfolgerung



Zur Effizienzsteigerung des Biogasprozesses gibt es eine Reihe verfahrenstechnischer Ansätze

- **Prozesshilfsstoffe**
  - Optimale Versorgung der Mikroorganismen
  - Schneller, vollständiger Substratabbau
- **Betriebsweise:**
  - Eigenenergiebedarf der Biogasanlagen kann zukünftig voraussichtlich deutlich gesenkt werden
- **Prozessgestaltung**
  - Neue technische Ansätze
  - Effizientere Nutzung des Biogases

8. Mitteldeutscher Bienergietag am 22. November 2011 in Colditz  
Optimierungspotenziale bei der Biogaserzeugung  
Hans Oechsner

46

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Vielen Dank  
für die finanzielle Unterstützung der  
Projekte durch die FNR und das MLR  
Baden-Württemberg!**