

Zweiphasige Biogasanlagen in der Landwirtschaft

## Methanemissionen offener Anmaischer und Hydrolysestufen

Ein Arbeitspaket des Verbundvorhabens *AcEta* (Effiziente Hydrolyse und Acidogenese)

TV 1: Bioprozessführung (FKZ 22015412)

TV 2: Populationsanalyse (FKZ 22011413)

51. Biogas-Fachtagung Thüringen  
Bösleben, 26.02.2019

Dr. Ralf Winterberg

*AcEta*<sup>↑</sup>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Übersicht des Vortrags

- Motive und Ziele des Projekts
- Motive der zweiphasigen Vergärung
- Bedeutung und Praxisausführung von Hydrolysestufen und Anmaischen in Deutschland
- Emissionen offener Hydrolysestufen und Anmaischer
  - Methoden
  - Biogasemissionen
  - wirtschaftliche Bedeutung der Biogasemissionen
  - Explosionsschutz
  - Bewertung aus Sicht des Klimaschutzes
- Empfehlungen zur Anlagenoptimierung

*AcEta*<sup>↑</sup>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Motive des Projekts

- relevante Zahl zweiphasiger landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Deutschland
- offensichtlicher, teilweise erheblicher Optimierungsbedarf der Auslegung (Behälter, Rührtechnik) und des Betriebs (Bioprozessführung) der Hydrolyse- und Versäuerungsstufen und Anmaischer

AcEta<sup>↑</sup>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Ziele des Projekts

- Dokumentation des Ist-Zustands sechs repräsentativer Hydrolyse- und Versäuerungsstufen und Anmaischer  
Schwerpunkt: **Biogasemissionen offener Stufen**
- Erarbeitung bioprozesstechnischer und technischer Maßnahmen zur Erhöhung der Prozesseffizienz



- Planer- und Betreiberempfehlungen (Broschüre) ✓
- Workshop für Planer und Betreiber ✓
- Fachvorträge und Fachveröffentlichungen ✓

AcEta<sup>↑</sup>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Bearbeitungsschritte

- Erfassung von 27 Planern/Herstellern sowie 60 Betreibern von Hydrolyse- und Versäuerungsstufen
- Ortstermine mit 20 Betreibern, Erfahrungsdokumentation, Auswertung einer 3-monatigen Betriebsphase
- experimentelle Untersuchung von 6 ausgewählten Hydrolyse- und Versäuerungsstufen sowie Anmaischern (Substratumsetzung, Produktbildung, Biogasemission, Mikroorganismen-Population)

AcEta<sup>↑</sup>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



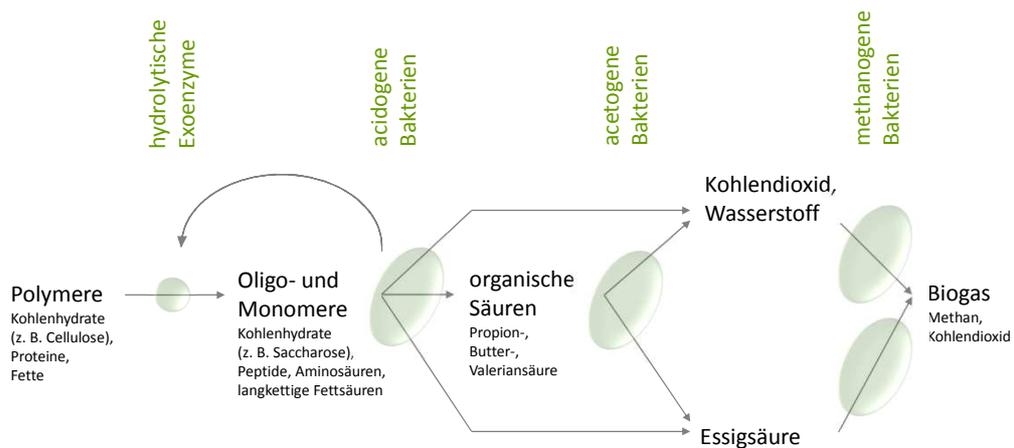
Hochschule Anhalt



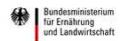
Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Anaerobe Nahrungskette

(vereinfacht)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:

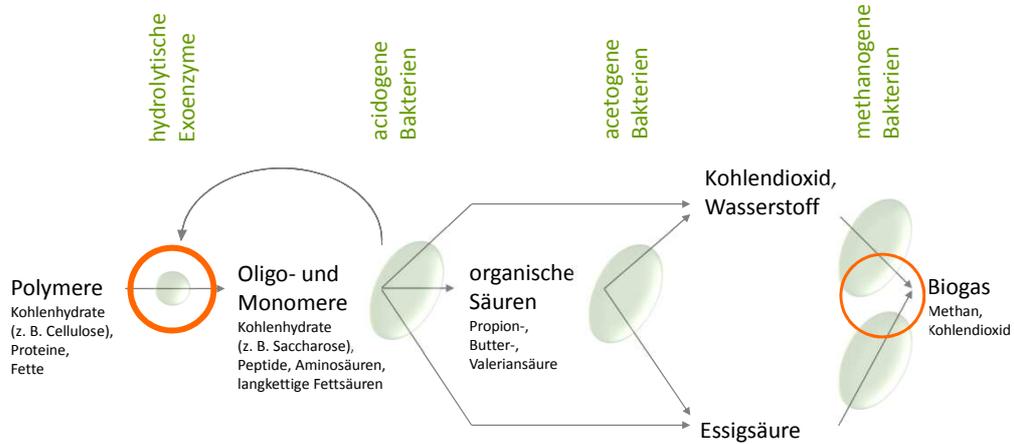


Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Anaerobe Nahrungskette: geschwindigkeitsbestimmende Schritte



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

# AcEta<sup>↑</sup>

### Definition: Stufen und Phasen

Der Begriff „Stufe“ wird im Rahmen der vorliegenden Studie für einen Reaktor verwendet, der in eine seriell geschaltete Reaktorkaskade integriert ist, und zwar unabhängig von der Art der Reaktion, die in ihm abläuft.

Der Begriff „Phase“ steht dagegen für den biochemischen Reaktionstypus innerhalb der anaeroben Nahrungskette, also für die Schritte Hydrolyse, Säurebildung und Methanbildung.



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

Gefördert durch:



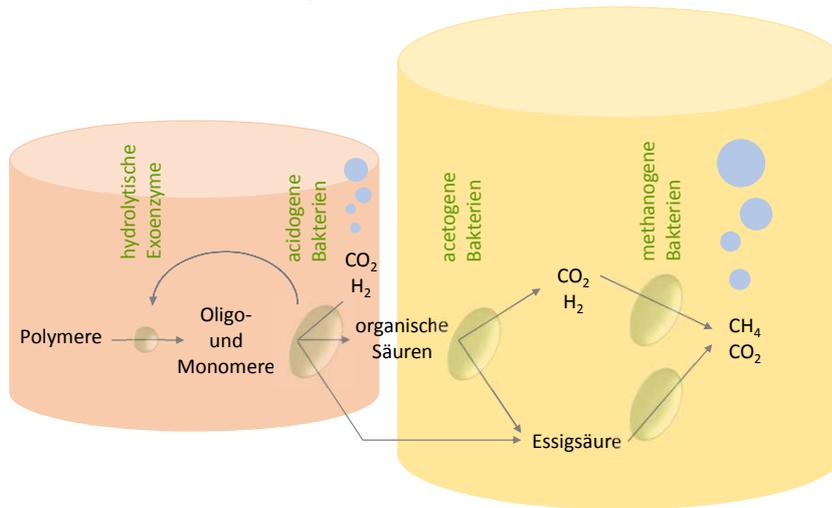
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## Zweiphasiger Abbau: Prozesskonzept



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagent Nachhaltende Rohstoffe e.V.



Hochschule Anhalt

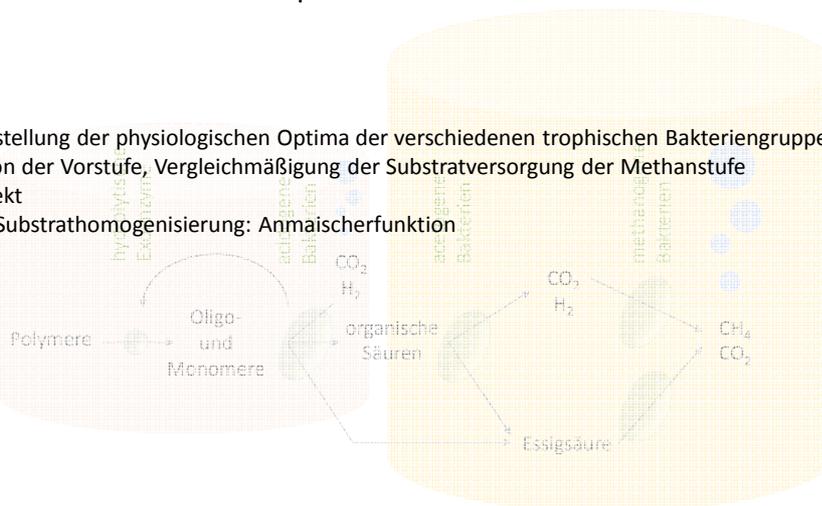


Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Zweiphasiger Abbau: Prozesskonzept

Motive:

- separate Einstellung der physiologischen Optima der verschiedenen trophischen Bakteriengruppen
- Pufferfunktion der Vorstufe, Vergleichmäßigung der Substratversorgung der Methanstufe
- Kaskadeneffekt
- verbesserte Substrathomogenisierung: Anmischerfunktion



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagent Nachhaltende Rohstoffe e.V.

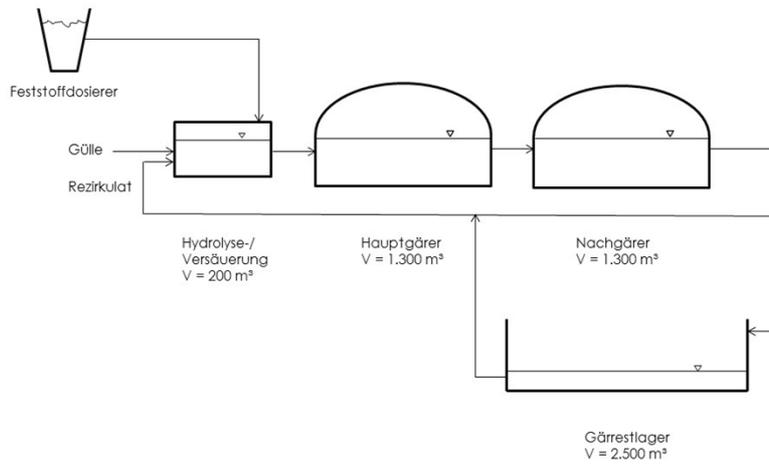


Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

### Typische zweiphasige landwirtschaftliche BGA



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

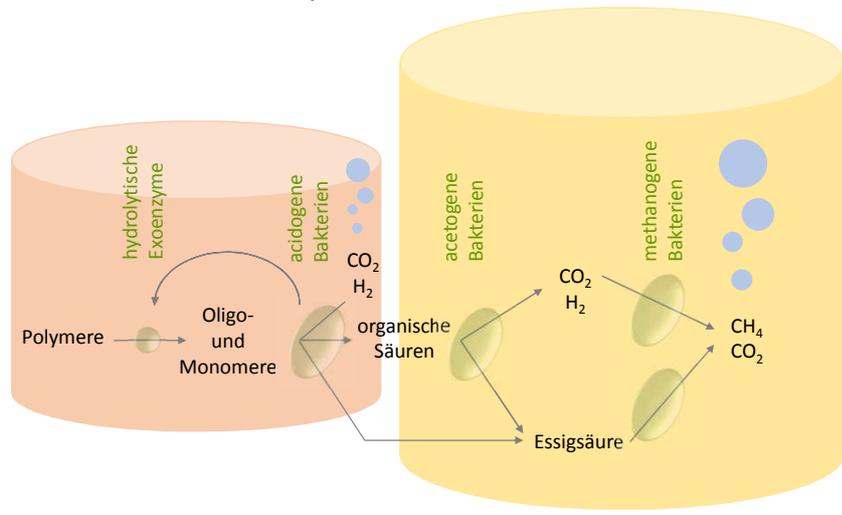
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages  
 Projektträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



### Zweiphasiger Abbau: Prozesskonzept



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

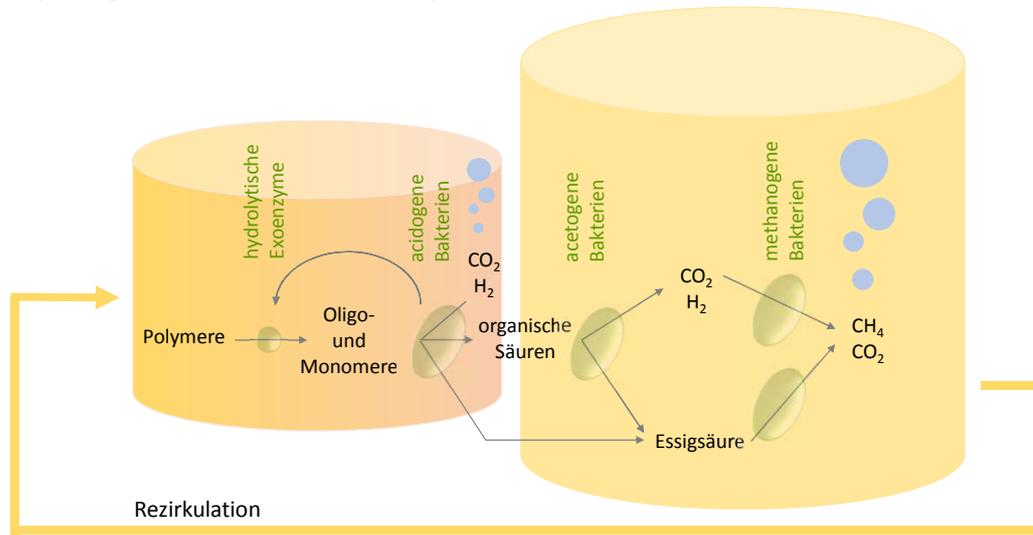
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages  
 Projektträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



## Zweiphasiger Abbau: Prozesskonzept mit Rezirkulation



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.



Hochschule Anhalt

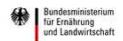


Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Anteil der deutschen landwirtschaftlichen BGA mit Hydrolyse- und Versäuerungsstufe

Studie	Anzahl der untersuchten Biogasanlagen	davon mit Hydrolyse- und Versäuerungsstufe (%)	erfasster Zeitraum	erfasste Region
FAL 2005	61	8	2001	Deutschland
vTI 2009	63	8	2005	Deutschland
Winterberg et al. 2012	18	17	2010	Altmark
Winterberg 2012	44	20	2010	Sachsen-Anhalt

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



## Praxisausführung der H+V-Stufen

Ergebnisse der Untersuchung von 20 BGA aus den Jahren 2006-2015

---

gasdicht:		55 %
belüftet:		20 %
mit zusätzlichem Anmaischer:		15 %
Rührsystem	Tauchmotorrührwerk:	35 %
	Langsamläufer:	35 %
	TM + Langsamläufer:	25 %
	ohne Rührwerk:	5 %



Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft  
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages  
 Projektträger:  
 FNR  
 Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

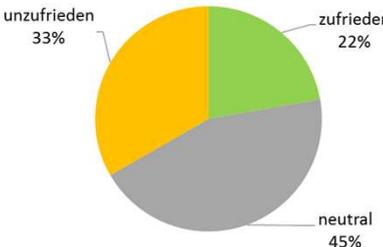





Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Beurteilung der Vorstufen und prozesstechnische Anpassungen

(ausgewertet: 18 BGA, Zeitraum vom Bau bis zum Ortstermin)





```

      graph LR
      A[Vorstufen (18)] --> B[unverändert (11)]
      A --> C[ergänzt, verändert oder außer Betrieb (7)]
      C --> D[ergänzt oder nachgerüstet (3)]
      C --> E[außer Betrieb (3)]
      C --> F[nachträglich gasdicht abgedeckt (3)]
      C --> G[Rührwerk ausgetauscht (3)]
      
```

Mehrfachnennungen möglich



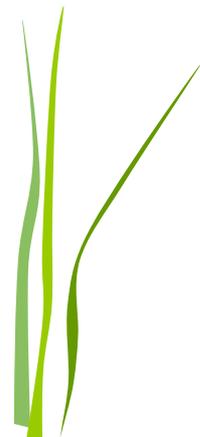
Gefördert durch:  
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft  
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages  
 Projektträger:  
 FNR  
 Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.






Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Vor- und Nachteile der Vorstufen: Die Erfahrung der Betreiber (ausgewertet: 18 BGA, Zeitraum vom Bau bis zum Ortstermin)



### Vorteile

- spürbar erhöhter Methanertrag
- geringe Wartungskosten, geringe Abrasion des Dosierungssystems
- Absetzerfunktion (Steine, Metallteile)

### Nachteile

- hohe Kosten ohne erkennbare Effizienzsteigerung
- Gasverluste
- Problematik der Schwimmschichtenbildung bei Feststoffdosierung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:

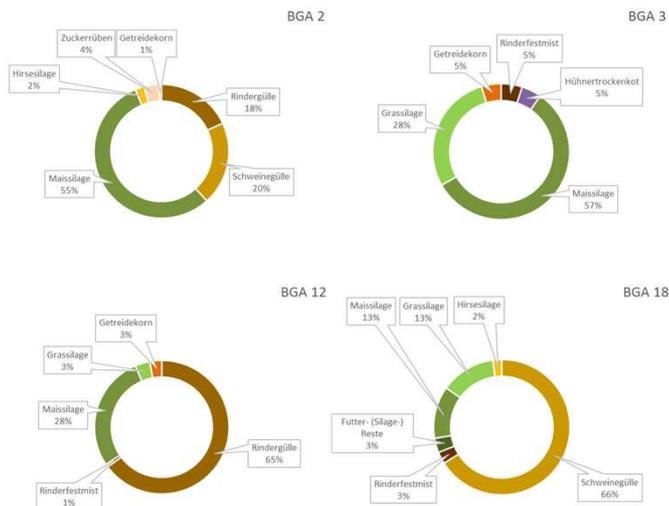
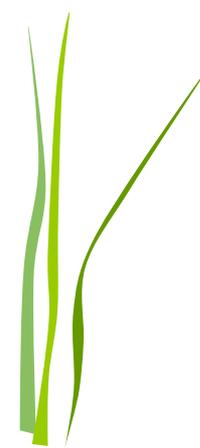


Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Substratzusammensetzung der H+V-Stufen Ergebnisse der Untersuchung von 6 BGA aus den Jahren 2015-2017



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:



Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Ausgewählte Betriebskenngrößen der 6 untersuchten Hydrolysestufen und Anmischer

Messgröße	erfasster Bereich	Einheit
Raumbelastung	32 - 147	kg oTS/m <sup>3</sup> d
hydraulische Verweilzeit	1,1 - 4,9	d
Rezirkulat/Substrat-Quotient (V/V)	0,75 - 3,4	
Vol.-Anteil (offen) am gesamten Fermentationsvolumen	2,2 - 11,1	%
Temperatur	25 - 40	°C
pH-Wert	5,6 - 7,4	

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.



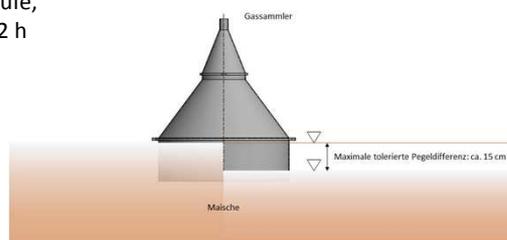
Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Methanemission: Methoden

Gassammlung: 100 l-Gashaube  
(ttz Bremerhaven, Sonderanfertigung)  
5 Messungen je Vorstufe,  
Messdauer jeweils 1-2 h



Biogaszusammensetzung: Feldmessgerät  
Wasserstoff im Biogas: Gaschromatografie  
(DBFZ, Arbeitsgruppe Herrmann)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

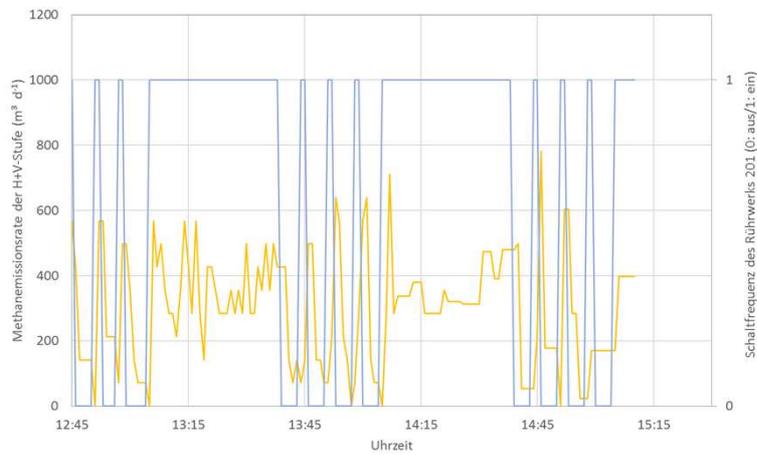


Hochschule Anhalt



Büro  
CORDES WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie

## Methanemission in Abhängigkeit von der Rührwerksaktivität



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## Zusammensetzung der Biogase der untersuchten Hydrolysestufen und Anmaischer

Biogasbestandteil	Messwertbereich	Einheit
Methan	9,2 – 35,3	Vol.-%
Kohlendioxid	61,8 – 88,0	Vol.-%
Wasserstoff	0,018 – 0,91	Vol.-%



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

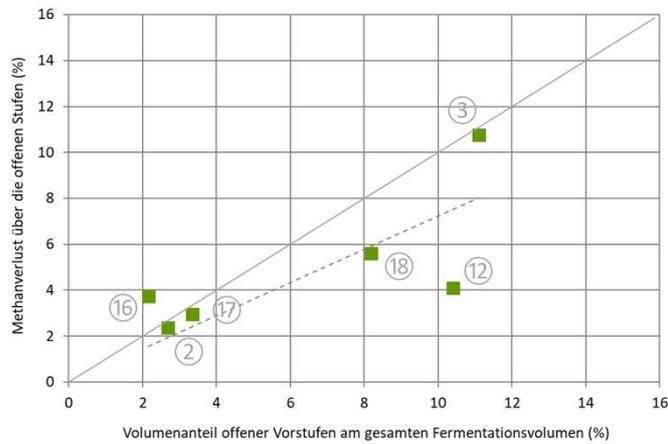
Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## Methanverluste der offenen Vorstufen bezogen auf verwertetes und emittiertes Methan

Die Nummern bezeichnen die untersuchten BGA



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



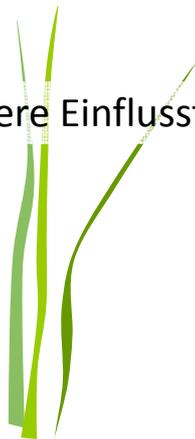
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## weitere Einflussfaktoren



- pH-Wert
- Temperatur
- Rezirkulationsrate (-quotient)
- Art des Rezirkulats
- Flüssigkeitsverweilzeit/oTS-Raumbelastung
- Substratzusammensetzung
- Durchmischungsintensität



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## Methanemissionen: wirtschaftliche Aspekte

Monetärer Gegenwert der Methanemission nicht gasdichter Vorstufen  
(Szenario: 600 kW<sub>el</sub>, 8.000 Vollaststunden, 0,2 €/kWh<sub>el</sub>,  
Wärmenutzung nicht berücksichtigt)

relativer, für die Verstromung verlorener Methananteil (%)*	monetärer Gegenwert	
	(€/a)	(€/20 a)
2	20.000	400.000
6	60.000	1.200.000

\* Bezug: im BHKW verwertetes Methan + emittiertes Methan



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

## Methanemissionen:

Explosionsgefahr unter bestimmten Umständen:

- im Falle niedriger Methananteile am Biogas (Beispiel: 20 %) und
- erheblicher Luftbeimischung (Beispiel: 7 % Methan im Biogas/Luft-Gemisch)

Molnarne u. Schröder 2007: Wie werden die Explosionsgrenzen von Biogasen berechnet?

- Vortrag, ProcessNet, Aachen, 16.10.2007  
<https://docplayer.org/30654385-Wie-werden-die-explosionsgrenzen-von-biogasen-berechnet.html>
- Fachveröffentlichung in *Chemie Ingenieur Technik* 79(9): 1435-1436 · September 2007



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

## Methanemissionen: Klimaschutzaspekte

Methanemissionen der Anmaischer und Hydrolyse- und Versäuerungsstufen  
der deutschen landwirtschaftlichen Biogasanlagen  
im Vergleich zu den Methanemissionen der deutschen Tierhaltung

Methanquelle	Emissionen	Einheit	Informationsquelle
deutsche Tierhaltung	1.239.300	t/a	UBA 2017
deutscher Biogasanlagenbestand <sup>1</sup>	302.571	t/a	UBA 2014
Anmaischer und H+V-Stufen der deutschen landwirtschaftlichen Biogasanlagen <sup>2</sup>	37.500	t/a	vorliegende Studie

<sup>1</sup> BGA zur Verwertung von Bioabfällen und landwirtschaftlichen Biomassen

<sup>2</sup> Annahme: 8.000 BGA, davon 12 % (entsprechend 960 BGA) mit offenen Vorstufen



Hochschule Anhalt



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

## Empfehlungen

1. **Vorstufen neuer Biogasanlagen grundsätzlich gasdicht ausführen**  
Positive Referenzen existieren
2. Vorstufen bestehender Biogasanlagen gasdicht ausführen, wenn die technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen es zulassen
3. Bioprozesstechnische Maßnahmen zur Emissionsminderung berücksichtigen

→ **Empfehlungen für Betreiber, Planer und Hersteller:**

[www.bioprozesse.de](http://www.bioprozesse.de) → Downloads

oder:

[https://www.bioprozesse.de/wp-content/uploads/2016/05/aceta\\_brochure\\_190115\\_print.pdf](https://www.bioprozesse.de/wp-content/uploads/2016/05/aceta_brochure_190115_print.pdf)



# AcEta<sup>↑</sup>



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages  
Projekträger:



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.



Hochschule Anhalt





AcEta<sup>↑</sup>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Hochschule Anhalt

Büro  
CORDES\*WINTERBERG  
Technische Bioprozesse  
Biogas/Energie