



# Vergärung von Stroh Stand und Perspektiven

Dr. Gerd Reinhold (TLL),  
Dr. Ing. Eberhard Friedrich (IKTS)

2. Internationale Stroh-Tagung  
29. – 30 März 2012 in Berlin

# Vergärung von Stroh – Stand und Perspektiven

Dr. Gerd Reinhold (TLL), Dr. Ing. Eberhard Friedrich (IKTS)

## 1. Problemstellung

Mit der Entwicklung der Biogastechnologie und deren Einführung in der Landwirtschaft ist ein zunehmender Flächenverbrauch festzustellen. Auch bei der angestrebten Nutzung von Reststoffen und Wirtschaftsdüngern sind zurzeit besonders in Norddeutschland negative Auswirkungen des Flächenverbrauchs in der Flächenkonkurrenz zwischen Biogasanlage und Veredlungsindustrie zu erkennen. Auch wird Biogas für steigende Pachtpreisen verantwortlich gemacht. Besonders wenn bei hohen Viehdichten, vorrangig nachwachsende Rohstoffe vergoren werden bzw. sehr großen Biogasanlagen bzw. großen Biogaseinspeiseanlagen zum Einsatz kommt, wird dieser Konflikt verschärft.

Hieraus ergibt sich unter anderem die Frage, ob durch Einsatz bisher nicht zur Biogaserzeugung genutzter Substrate wie z. B. Stroh – dieser Konflikt entschärft werden kann. Zusätzlich ist abzuschätzen, ob Stroh technisch und wirtschaftlich vergärbbar ist.

## 2. Vergärungseigenschaften von Stroh

Stroh ist im Vergleich zu den traditionellen Gärsubstraten wie Maissilage und Rindergülle durch einen sehr hohen Trockensubstanzgehalt und geringe Lagerungsverluste gekennzeichnet. Die Gaserträge in Batch-Versuchen mit vorbehandeltem Stroh erreichen mit ca. 230 – 270 (320) l Methan/kg oTS etwa 70 % des Gasertrages von Maissilage. Bei den durchgeführten Batch-Versuchen ist zu beachten, dass durch die Zerkleinerung ein hoher Aufschluss möglich ist und den Impfschlammanteil entsprechende Defizite an Spurenelemente und Nährstoffen ausgeglichen werden. Eine direkte Übertragung dieser Ergebnisse ist auf eine Monovergärung von Stroh im technischen Maßstab nur unter Berücksichtigung dieses Sachverhaltes möglich.

Bei der Zusammensetzung der Trockensubstanz ist festzustellen, dass Stroh mit rund 10 % Ascheanteil und einem schwer oder nicht vergärbaren Anteil der oTS von ca. 35 % nicht so weit aufgeschlossen werden kann wie Maissilage. Stroh ähnelt in dieser Weise dem Wirtschaftsdünger, die mit ca. 20 % Ascheanteil und einem unvergärbaren Anteil der oTS von 40 % charakterisiert sind. Bei den Nährstoffgehalten von Stroh ist zu berücksichtigen, dass das sehr weite C/N-Verhältnis und die im Vergleich zu Wirtschaftsdünger nicht vorhandenen Spurenelemente ähnlich wie bei der Monovergärung von Maissilage durch die Zugabe von geeigneten Co-Substraten ausgeglichen werden müssen.

Die mechanische Zerkleinerung und Aufbereitung von Stroh als Voraussetzung für eine Vergärung ermöglicht eine bessere Wasseraufnahme, trägt zur Schwimmschichtvermeidung bei und beschleunigt die Gasbildung. Bei den mechanischen Verfahren der Substrataufbereitung ist der Energieeinsatz zu beachten, der z. B. bei Extrudereinsatz bis ca. 10 % der Strohenergie betragen kann. Alle mechanischen Verfahren wie Lochscheibenzerkleinerer, Dissolver, Extruder, Prallreaktoren und Mühlen haben einen speziellen Einsatzbereich (Substratfeuchte).

Aus verfahrenstechnischer Sicht ist auf Grund des hohen TS-Gehaltes bei Strohvergärung der Zusatz von Flüssigkeit erforderlich. Diese kann kaum allein aus Rezirkulationsmengen realisiert werden. Die Nutzung der Dünnpfase des separierten Gärrests kann die notwendige Flüssigkeitszufuhr und -abführung deutlich verringern.

Gleichzeitig werden dadurch Spurenstoffe und Stickstoff im Kreislauf gehalten was deren Zugabenotwendigkeit reduziert. Die Mitvergärung von TS-armen Flüssigkeiten wie Jauche und Prozesswasser sind hier bei ebenso eine gute Möglichkeit für die Praxis.

### **3. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Strohvergärung**

Die technischen Vorgaben des EEG 2012 in § 6 mit einer Mindestverweilzeit im Gasdichten Raum von 150 Tagen, stellen einen Vorteil für die Strohvergärungsanlagen dar, da hier solche langen Verweilzeiten günstiger sind. Die Einordnung in die Einsatzstoffgruppe 2 als ökologisch wichtige Stoffe führen zu einem Einsatzstoffbonus von 8 Cent/kWh.

Hinsichtlich der Substratkosten ist festzustellen, dass Stroh nach Berechnung der TLL (Degner 2012) mit ca. 60 € zu veranschlagen ist. Für Vergärungsverfahren ist die hier unterstellte aufwendige Lagerung sicherlich nicht erforderlich und auch ein Wechsel von der Ballengutlinie zur Häckselgutlinie möglich, so dass auch Strohkosten von 40 bis 50 € unterstellt werden können. Bei Annahme von 250 l CH<sub>4</sub>/kg<sub>oTS</sub> ergibt sich somit dass der Einsatzstoffbonus 2 die Strohkosten zu 100 % (incl. Lagerungskosten unter Dach) bis 170 % (ohne Lagerungskosten) trägt. Im Vergleich dazu werden bei Maissilage nur 62 % der Substratkosten aus dem Einsatzstoffbonus gesichert.

### **4. Zusammenfassende Ansatzpunkte zur Strohvergärung**

Auf Grund der im Vergleich zu Maissilage deutlich reduzierten Substratkosten ist eine Strohvergärung finanziell gut darstellbar. Im Einzelnen verursacht Maissilage bis zu 10 ct/kWh Substratkosten, Stroh dagegen nur 5 bis 6 ct/kWh. Für die Aufbereitung des Strohs ist im Vergleich zur konventionellen Maisanlage mit einem erhöhten Prozessstrombedarf zu rechnen, der die oben genannten Vorteile bei der Substratbeschaffung nicht aufwiegt. Aktuell werden intensive Anstrengungen seitens der Hersteller derartiger Aufbereitungsanlagen vorgenommen, um den Eigenenergiebedarf der Strohvorbehandlung zu reduzieren.

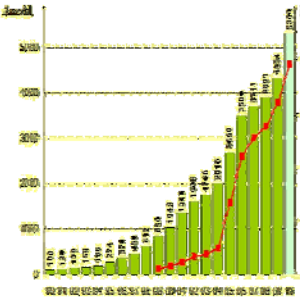
Im Rahmen des EEG sind sowohl Vorteile (150 Tage Verweilzeit) als auch Nachteile (Anrechnung von nur 208 l CH<sub>4</sub>/kg<sub>oTS</sub>) für die Strohnutzung festzustellen, die im konkreten Anlagenbereich zu prüfen sind. Die Forderung des Nachweises dass keine Kornnutzung für energetische Zwecke erfolgt, kann im Einzelfall problematisch sein, ist jedoch eine grundsätzlich lösbare Herausforderung.

Aus verfahrenstechnischer Sicht ist die Vergärung von Stroh am einfachsten möglich, wenn ein ausreichendes Potenzial an TS-armer und ggf. nährstoffreicher Flüssigkeit (Jauche, Schweinezuchtgülle, ...) verfügbar ist. Eine reine Strohvergärung mit Rekulation der Flüssigkeit kommt ohne eine externe Flüssigkeitszufuhr kaum aus, da sich in der Flüssigphase anorganische Bestandteile anreichern.

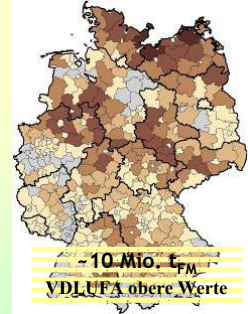
Auf Grund der Regionalität des Strohanfalls und zur Vermeidung entsprechender Transportaufwendungen können Stroh Co-Vergärungsanlagen vorrangig im Kleinen bis mittleren Anlagengrößenbereich angesiedelt werden. Neue Entwicklungen wie z. B. in Zörbig zeigen aber in Abhängigkeit von regionalen Reststrohaufkommen dass auch Großanlagen zur Monovergärung von Stroh im Leistungsbereich > 1 MW darstellbar sind und zurzeit geplant werden.

## Vergärung von Stroh – Stand und Perspektiven

BGA- Bau



Strohanfall



2. Internationale Fachtagung Stroheergie –Berlin, 29. - 30.März 2012

## Politischer Entscheidungsbereich *Flächennutzung für Biogas*

### Food-Produktion

- Nahrungsmittel
- Tierfutter

### No-Food-Produktion

- ind. Rohstoffe
- Energie (Wärme, Strom, Kraftstoff)

begrenzte,  
kleiner werdende  
Fläche

### Schutz Biosphäre

- Artenvielfalt
- Boden, Wasser

# Konfliktpotenzial Biogas

- *Flächen-Konkurrenz Tier u. Biogas (→ Pachtpreis)*
  - **Nein**, bei: **standortangepassten BGA mit Synergie von Tierhaltung und Biogas**
  - **Ja**, bei: **hoher Viehdichte und NAWARO-Einsatz großen Einspeiseanlagen o. Flächenbezug**

## → Fragen:

1. *Ist Stroh verfahrenstechnisch und wirtschaftlich vergärbar ?*
2. *Kann Stroheinsatz diesen Konflikt entschärfen ?*  
*aber hohe Viehdichte → hoher Maisanteil und Wirtschaftsdüngeranfall bei geringer Getreideanbau und hoher Strohbedarf*



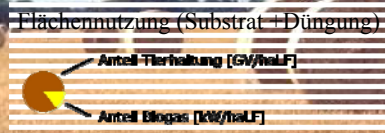
Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Flächennutzung durch Tiere u. BGA

(Futter-/Substratbereitstellung sowie Gülle/Gärresteinsatz)



**Einheit:** (GV+kW)/ha<sub>LF</sub>  
 da:

**1 GV = 0,5 ha = 1 kW = 80 kg N**



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



# Agenda

- Warum Strohvergärung ?
- Strohpotenziale
  - 10 Mio. t/a; 210 CH<sub>4</sub> l/kg → 710 MW elektrisch (= 50 % vom Wirtschaftsdüngerpotential)
- Substrateigenschaften
  - Inhaltsstoffe, Gaserträge, Kosten, Vergärungsbedingungen
- Strohvergärung und deren Perspektiven
  - verfahrenstechnische Anforderungen
  - Landwirtschaftliche Sicht
  - Ökonomische Chancen
- Zusammenfassung

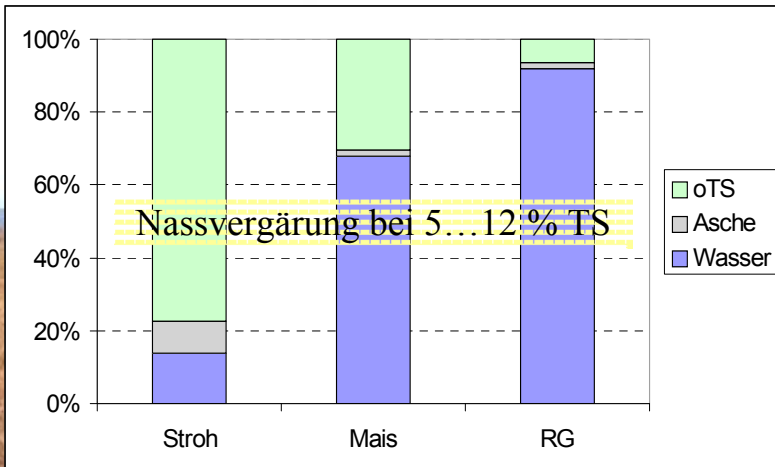


Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Vergleich der TS-, Asche- u. H<sub>2</sub>O- Gehalte



Wasserzufuhr/Kreislaufführung bei Strohvergärung erforderlich



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



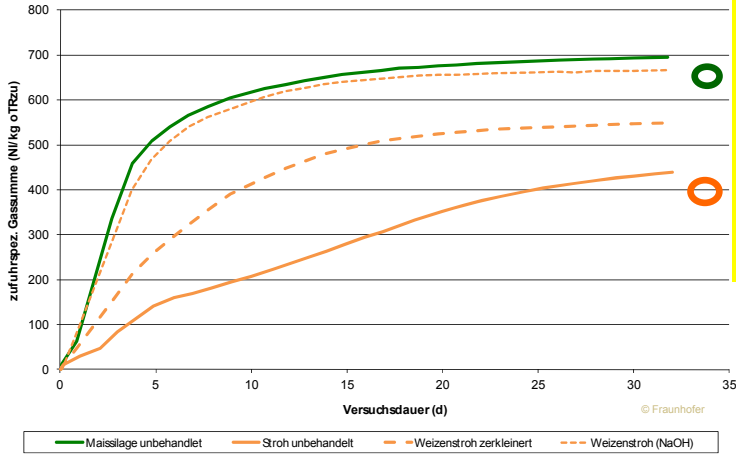


# Gasertrag Stroh/Mais

**KTBL Richtwerte**

**Mais**  
650 l/kg<sub>oTS</sub>  
(338 l CH<sub>4</sub>/kg)

**Stroh**  
400 l/kg<sub>oTS</sub>  
(210 l CH<sub>4</sub>/kg)



Batch-Versuche → Nährstoffe v. Impfschlamm → Nicht auf Monovergärung übertragbar



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Gaserträge aus Stroh

Quelle: KTBL  
(Datenbank 2010)

Batch-Versuche  
(optimale Bedingungen)

- Nährstoffe OK
- Einmischen OK
- Zerkleinerung OK

**gilt nur für geringe Strohanteile**

Substratbeschreibung	Gaserträge		
	Biogas [l/kg oTS]	Methan [%]	Methan [l/kg oTS]
Weizenstroh	545		
Hartweizenstroh mit	453		
Wintergerstenstroh	569	54	307
Getreidestroh	579	53	305
Triticale, Ernte 2005, U	569	52	295
Triticale, Ernte 2005, U	580	52	299
Weizenstroh, Ernte 20	564	52	292
	484	57	275
Weizenstroh, Ernte 20	537	53	288
Raps-Stroh 901/1	539	52	282
Raps-Stroh 901/4	498	52	260
Hafer-Stroh/1	589	52	308
Hafer-Stroh/4	584	52	302
Dinkel-Stroh/1	624	53	328
Dinkel-Stroh/4	522	51	267
Gerste-Stroh/1	573	52	295
Gerste-Stroh/4	529	53	279
Weizen-Stroh/1	589	51	299
Weizen-Stroh/4	560	52	289
<b>S</b>	<b>478</b>		
	<b>548</b>	52	<b>292</b>
<b>Stdabw.</b>	<b>43,7</b>		<b>16,5</b>
<b>Variationskoeff.</b>	<b>8%</b>		<b>6%</b>

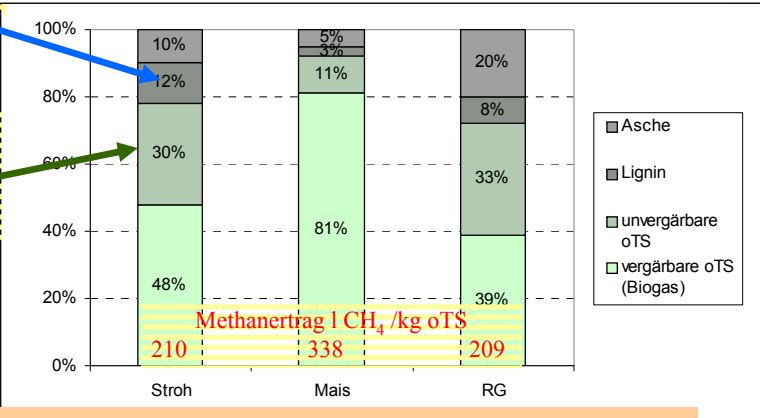


Reinhold, Gerd

## Lignin-aufschluss

# Zusammensetzung der TS

Mech. Aufschluss bzw. Verweilzeit



Ligningehalte: 10...15 % 2,5...3,5 % 7... 9 %  
 (biologischer Ligninabbau nur durch Pilze unter aeroben Bedingungen)

Hoher Anteil unvergärbarer org. Substanz bei Stroh



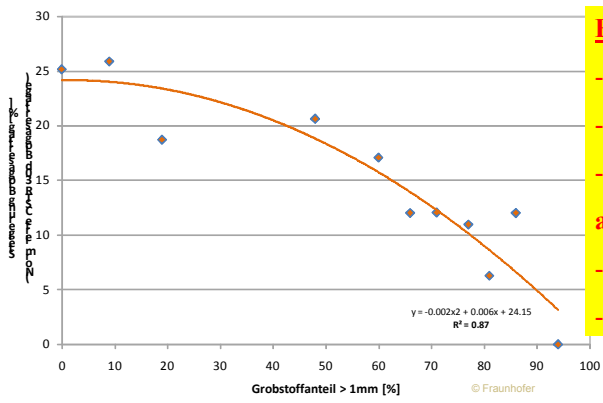
Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Mechanische Desintegration - Ergebnisse

Zusammenhang: Grobstoffanteil und Mehrgasertrag aus Batchgärversuchen von Weizenstroh normiert auf CSTR 30d



- Effekte:**
- Zerkleinerung
  - Wasseraufnahme
  - Abbaugeschwindigkeit
- aber
- keine Ligninauflösung
  - Absoluter Gasertrag (?)



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard





# Nährstoffgehalte (in FM)

	Stroh 86% TS, 95 % oTS	Mais 32 % TS, 95 % oTS	Rindergülle 10% TS, 80 % oTS
C (kg/dt <sub>FM</sub> )	4,9	1,8	0,58
N (kg/dt <sub>FM</sub> )	0,50	0,43	0,50
P (kg/dt <sub>FM</sub> )	0,13	0,08	0,66
K (kg/dt <sub>FM</sub> )	1,16	0,42	0,44
C: N	<b>80-100 : 1</b>	<b>30-40 : 1</b>	<b>8-10 : 1</b>
Spurenelemente	Im Mangel		verfügbar

Ungünstiges C:N Verhältnis u. Mikronährstoffe fehlen bei Strohvergärung



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Abgeleitete Rahmenbedingungen für Strohvergärungsverfahren

- Hoher TS-Gehalt → Wasserzusatz nötig
  - **Aufbereitung** für Einmaischen erforderlich
  - Flüssigkeitsabtrennung und Rückführung
- Ungünstiges Verhältnis an Makro- und Mikronährstoffen
  - Mitvergärung mit nährstoffreichen Flüssigkeiten (Jauche, Prozesswasser, ...)
  - Zufuhr von Spurenelementen nötig
- Gasertrag (oTS Bezug) ca. 70...80 % vom Mais möglich
  - durch längere Verweilzeiten und/oder **Aufbereitung**
- 20 .. 30 % schwer vergärbare Anteil (dav. 10...15 % Lignin)
  - → **Aufbereitung** angeraten für Gasausbeutesteigerung



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



# Mech. Verfahren zur Substrataufbereitung

(Quelle: Schwarz 2012)

- **Lochscheibenzerkleinerer:** z.B. Vogelsang
  - Nasszerkleinerung von Störstoffen
- **Dissolver:** Fa. Niemann → Vertrieb: EnviTec
  - Prinzip: sehr schnell rotierende Messerscheibe
- **Extruder:** z.B. Fa. LEHMANN Maschinenbau
  - gute Zerkleinerungswirkung
- **Prallreaktoren:** z.B. Fa. MeBa (MeWa) UniCut QZ 900
  - Rotierende Kette, geringe Störstoffanfälligkeit, breites Anwendungsspektrum
- **Mühlen:** z.B. Fa. Huning oder Fa. Geratech → Hammermühlen
  - Tendenziell für trockene Substrate

Substrat

nass

trocken

Verfahren sind verfügbar, Energiebedarf ist zu beachten



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Stand der Forschung – IKTS

### Pilotmaßstab-kontinuierliche Vergärung von Stroh

**Ergebnisse:** Anmischung in Vorstufe (ca. 11 % TS)

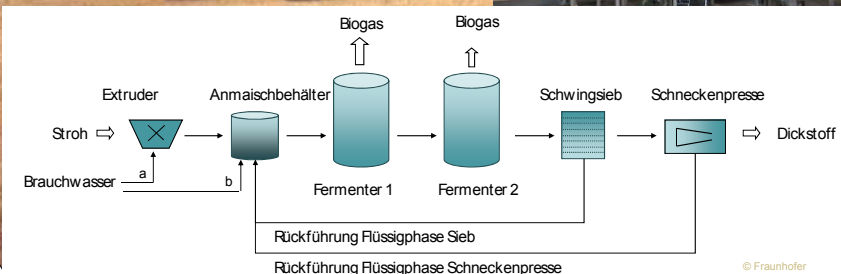
→ keine Betriebsprobleme (keine Schwimmschichten)

→ Mittlerer Methanertrag = 270 NI / kg<sub>TS</sub> (=80% Mais)

→ Gute Entwässerung Gärrest

→ kein steady state erreicht

→ Aufkonzentrierung von anorganischen Rückständen (Asche)



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



# Wirtschaftliche Rahmenbedingungen Strohvergärung im EEG 2012

## § 6 Technische Vorgaben

„neue zu errichtendes Gärrestlager am Standort der BGA sind technisch gasdicht auszuführen **und 150 Tage Mindestverweilzeit** im gasdichten Raum sind einzuhalten“

→ Vorteil für Strohvergärung

Einsatzstoffgruppe II (ökologisch wichtige Stoffe) → 8 ct/kWh

16.	Stroh (Als Stroh gilt das halmgutartige Nebenernteprodukt von Getreide, Ölsaaten der Körnerleguminosen, wenn das <b>Hauptprodukt (Korn)</b> <b>nicht energetisch genutzt wird</b> und das halmgutartige Nebenernteprodukt vom Korn separiert vorliegt.)	161 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t FM → 208 l/kg oTS
-----	---	--

→ Nachteil bei höheren Gasertrag



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Substratkostenvergleich

		Stroh	Mais	Rindergülle
Feldproduktion	€/t <sub>FM</sub>	0	19,2	0
Nährstoffe	€/t <sub>FM</sub>	Kreislauf		
Ernte u. Transport	€/t <sub>FM</sub>	34	9,9	0
Lagerung	€/t <sub>FM</sub>	(25)	8,9	Tierhaltung
Lagerungs-/Silierverluste		0 ... 5 %	<b>10 %</b>	0 ... 1 %
<b>Summe</b>	<b>€/t<sub>FM</sub></b>	<b>34 (59)</b>	<b>38</b>	<b>0</b>
	<b>€/t oTS</b>	<b>36 (62)</b>	<b>113</b>	<b>0</b>
<b>Gasausbeute</b>	<b>l<sub>CH<sub>4</sub></sub>/kg<sub>oTS</sub></b>	<b>210</b>	<b>338</b>	<b>209</b>
	<b>m<sup>3</sup>/t FM</b>	<b>163</b>	<b>103</b>	<b>13</b>



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



# EEG 2012 Substratvergütung

38 % Wirkungsgrad

	Stroh	Mais	Rindergülle
Kosten <sup>1)</sup> €/t	34 (+25 <sup>3)</sup> )	38	0
Gasausbeute <sup>2)</sup> I <sub>CH<sub>4</sub></sub> /kg <sub>oTS</sub>	210	338	209
Gasertrag m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> /t FM	163	103	13
EEG Vergütung ct/kWh	8	6	8
€/t FM	50	23	4
<i>Einsatzstoffvergütung = % der Substratkosten</i>	<i>145 (84%)</i>	<i>62 %</i>	-

1) BWT TLL, Degner 2012

2) KTKB Heft 88 (2010)

3) Koste Lagerung unter Dach



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Ök. Ansatzpunkte zur Strohvergärung

- **Finanziell – denkbar, da Strohkosten << Mais**
  - **Mais** 35 €/t FM (10 % Silierverlust)
    - → **ca. 10 ct/kWh (Basis Getreidepreis)**
  - **Stroh** 40 ... 70 €/t FM
    - ohne Lager u. NPK Kosten, ca. 50 €/t oTS
    - → **ca. 5 ... 6 ct/kWh (Basis Kosten)**
  - Prozessstrombedarf (Stroh + 10 %) beachten
  - EEG 2012
    - Wärmenutzung > 60 % (Standort Auswahl)
    - 150 d gasdicht (Vorteil, Gasausbeute)



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard





# Grobkonzept „Strohvergärung“

(3 t/ha, 50 €/t, 210 l CH<sub>4</sub>/kg oTS)

Variante:			Pilot	Klein	mittel
BHKW-Größe	kW		<b>50</b>	<b>150</b>	<b>500</b>
Fermenter	m <sup>3</sup>		612	1770	5899
Gärrestlager	m <sup>3</sup>		vorhanden	vorhanden	vorhanden
Stroheinsatz	ha/a		<b>204</b>	<b>546</b>	<b>1819</b>
	t/a		<b>582</b>	<b>1555</b>	<b>5183</b>
Jauche	t/a		<b>1.000</b>	<b>3.000</b>	<b>10.000</b>
Belastung	kg/m <sup>3</sup> d		<b>2,21</b>	<b>2,05</b>	<b>2,05</b>
Wärmenutzung	kW		18	49	162
max. mögl. Invest.	€/kW		<b>2.211</b>	<b>4.839</b>	<b>4.027</b>
Vergütung	EEG 2009		23,0	23,0	19,6
	EEG 2012		22,3	22,3	21,0



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



## Zusammenfassungen Strohvergärung Verfahrensanforderungen

### • Substrat Stroh

- Regionaler Anfall, (Transportaufwand und Lagervolumen für Großanlagen), Markt durch „Pferdehalter“ und Jahreswitterung getrieben)
- Gülle-/Jauchezufuhr anstreben (NPK+ Spurenelemente) !  
Bindegarn = „Hemmstoff“ → Häckselgutlinie
- Mietenlagerung gut denkbar → geringe Kosten
- Keine steigende Kosten durch NPK Preise, da Gärrestrückführung

- Im technischen Bereich – wenig bis keine Erfahrungen
- technisches Risiko bleibt

→ **Pilotanlage 50 ... 150 kW anstreben**

F/E Zuschuss nötig



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard



# Zusammenfassung

- **Strohpotenzial** ist ausreichend vorhanden
    - 8... 12 Mio. t/a
  - Strohvergärung ist **finanziell** machbar
  - **technisch und betriebswirtschaftlich** zu entwickeln sind:
    - Substratvorbehandlung u. -aufschluss
    - Flüssigkeitsmanagement (Gärflüssigkeitwässerung, ...)
    - Nährstoffbilanz (NPK und Makronährstoffe)
  - **Einsatzbereich**
    - Co-Vergärung in kleinen bis mittleren Anlagen (N-Abpufferung, Besiedlungsfäche)
    - Mono-Vergärung in Großanlagen (Entwicklungsbedarf)
- **Strohvergärung ist zu entwickeln**



Reinhold, Gerd

Friedrich, Eberhard

