

# Die thermische Vorbehandlung (Desintegration) von Stroh – Einweichen oder „kochen“?

Zur Desintegration von Rohstoffen werden die unterschiedlichsten Maschinen/Verfahren angeboten. Egal, ob mit rotierenden Ketten, Zahnscheiben, Ultraschall usw. auf das Material eingewirkt wird, alle verfolgen das gleiche Ziel: die Vergrößerung der Oberfläche zur Steigerung der Rohstoffausbeute. Leistet die thermische Desintegration Vergleichbares?

Von Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto und M.Eng. (FH) René Casaretto

Dieser Artikel soll eine weitere Möglichkeit der Verwendung von Stroh darstellen – die Methode des „Light Cooking“. Hierbei soll unter geringem energetischen und technischen Aufwand ein möglichst hoher Gasertrag aus dem Rohstoff erzielt werden. Diese Herangehensweise ist entstanden durch die steigende Technisierung der Vorbehandlungsanlagen und die damit verbundene Komplexität. Der Wartungsaufwand bei dieser Methode ist gering, was insbesondere dort, wo die Biogas-Anlage „nur“ ein weiteres Standbein neben dem eigentlichen Brot- und Butter-Geschäft – der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Flächen und/oder der Viehzucht und Nahrungsmittelproduktion – von Bedeutung ist. Von daher erschien die Methode des „Light Cooking“ als zu präferierende Lösung, da sie viele Vorteile wie einfacher, modularer Aufbau und geringe Komplexität vereint.

## Kapitel I Thermische Vorbehandlung bei 99 °C

2017 wurde an der Aalborg Universität eine Masterarbeit von Anwi Josephine Mundi und Markéta Kaderavkova eingereicht, die sich mit der thermischen Vorbehandlung von Stroh beschäftigt. Im Rahmen dieser Arbeit ergaben sich für das mit 99 Grad Celsius (°C) vorbehandelte Weizenstroh und einer anschließenden Vergärung bei 40 °C folgende Werte (siehe Tabelle 1).

Bezieht man den Mittelwert der Qualitätsmerkmale aus Tabelle 2 auf den Mittelwert des Gasertrages, so errechnen sich  $(278,35 \cdot 0,8292 \cdot 9,968^1) = 2.300$  Kilowattstunden (kWh) je Tonne Gärmasse Stroh.

Tabelle 1:  $Nm^3(CH_4) \cdot t(oTR)^{-1}$ , 2 Durchläufe mit je 3 Gärtests

1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3
260,50	276,50	282,50	279,70	287,10	283,80
Mittelwert: $278,35 Nm^3(CH_4) \cdot t(oTR)^{-1}$					

Demnach ergibt die thermische Vorbehandlung durchaus Sinn, denn mit einer Tonne so vorbehandeltem Stroh können (ausgehend von den Faustzahlen Biogas, KTBL, 3. Ausgabe 2013) mit  $(340 \cdot 0,35 \cdot 0,95 \cdot 9,968 = 1.126,88 kWh)$  2,04 Tonnen Maissilage ersetzt werden. Um aber die 99 °C zu erreichen, werden ebenfalls eine (oft nicht vorhandene) erhebliche Menge an thermischer Energie und Investitionen in eine entsprechende Technik benötigt.

Tabelle 2: Qualitätsmerkmale

	TR	oTR	oTR/TR
a	93,39 %	90,40 %	84,42 %
b	93,96 %	90,83 %	85,34 %
c	94,16 %	91,04 %	85,73 %
d	92,00 %	89,03 %	81,90 %
e	91,87 %	88,69 %	81,48 %
f	92,13 %	89,03 %	82,02 %
g	91,88 %	88,44 %	81,26 %
h	91,99 %	89,02 %	81,89 %
i	92,44 %	89,03 %	82,30 %
Mittelwerte	92,65 %	89,50 %	82,92 %

Tabelle 3: Parameter d. Vorbehandlung u. Vergärung

Strohlänge	20-40mm
Stroh mit Wasser aufheizen	bis 99 °C
Haltezeit bei 99 °C	60 Minuten
Abkühlung auf	40 °C
Zugabe zu dem Inokulum	bei 40 °C
Gärtestabbruch bei	29 Tagen

Abbildung 1: Stroh inklusive Lignin vs. reine Cellulose

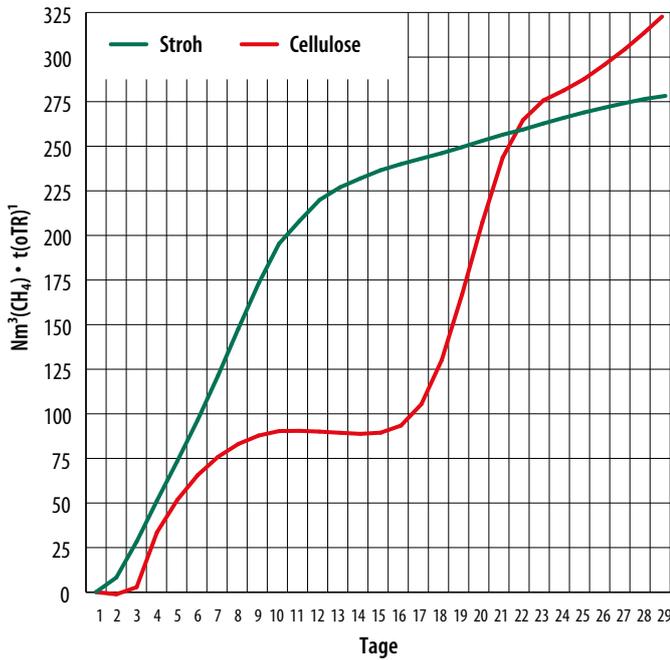
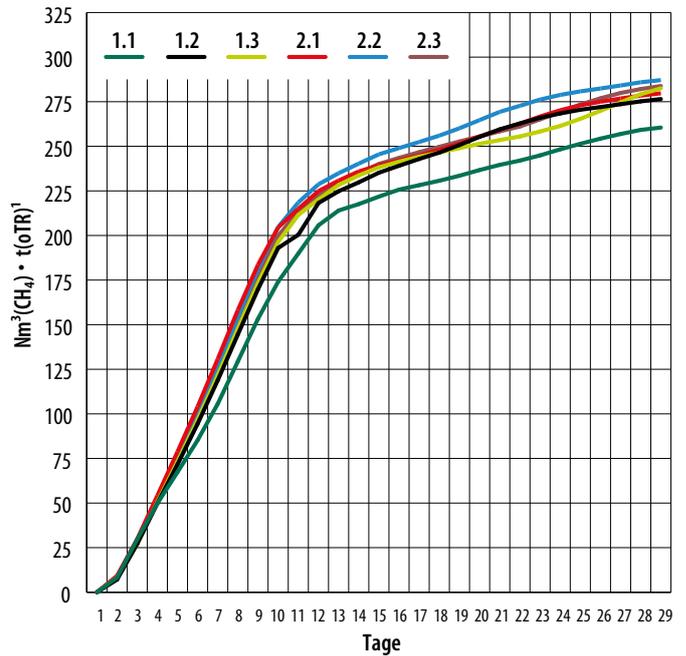


Abbildung 2: Alle 6 Strohproben im Gärtest



**Laborteil**

Die im Kapitel II vorgestellten Ergebnisse wurden an der Aalborg University Esbjerg und die im Kapitel III an der Hochschule Flensburg – Dept. of Chemical Technologies – erhoben. Für die Basisparameterbestimmung wurden die Normen DIN 38414-2 / -3 verwendet. Eine Säurekorrektur für die Trockensubstanzbestimmung wurde nicht durchgeführt. Die Gärtests erfolgten in Anlehnung an die VDI 4630-2016. Hierbei wurde für die Ergebnisse aus Dänemark das AMPTS-2 System der Firma Bioprocess Control verwendet mit einer NaOH-Lösung zur Elimination des Kohlenstoffdioxides, die

Prozesstemperatur wurde auf 40°C gesetzt. Das Stroh wurde so vorbehandelt, wie die zugeordneten Tabellen jeweils ausweisen. Hierfür wurde der Rohstoff den Gärfラスchen zugegeben, rund 100 Gramm Wasser hinzugefügt und im geschlossenen Gefäß bei den in den jeweiligen Tabellen genannten Temperaturen und Zeiten vorbehandelt.

Abbildung 2 zeigt die 6 Verläufe aus den Gärtests, deren Werte in Tabelle 1 zu sehen sind. Der Versuch 1.3 weist vom 19. bis zum 26. Tag eine „Schwächephase“ gegenüber 2.2 auf.

**Wechselservice**

**Aktivkohle**

**Eisenhydroxid**



**NECA | service® - Aktivkohlewechsel für den sicheren Betrieb Ihrer Anlage**

- Lieferung von Spezialaktivkohlen zur Entfernung von Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S)
- Austausch der Aktivkohle
- Professioneller Wechselservice
- Fachgerechte Entsorgung beladener Aktivkohle

**Kapitel II  
Vorbehandlungen bei der Ernte und 80 °C**

Weitere Untersuchungen bezogen sich auf aufgefaser-tes und geschnittenes (PreChop), geschnittenes (Cut) und gemahlenes (Mühle) Weizenstroh sowie auf Strohpellets und zerbröckelte Strohpellets mit einer Vorbehandlungstemperatur von jeweils 80 °C und einer Haltedauer von 60 Minuten.

Die Pellets stammen von der Firma Krone, die uns sowohl eine Probe der Pellets zur Verfügung stellte, die mit dem Premos 5000 erzeugt wurde als auch eine Probe des unbehandelten Original-Strohs.



Aufgefaser- und geschnitten wurde das Stroh von dem Lohnunternehmen mit einem Krone-PreChop.



Geschnitten wurde das Stroh von dem Lohnunter-nehmen mit dem Krone-Multi-Cut.

FOTOS: MASCHINENFABRIK BERNHARD KRONE



Gemahlen wurde das Stroh von dem Lohnunternehmen mit einer Haybuster-Strohmühle. Hier im Bild ist ein anderes Fabrikat zu sehen.

FOTO: LANDPIXEL.DE

**Tabelle 4: Qualitätsmerkmale des Weizenstrohs**

	TR	oTR	oTR/TR
PreChop	95,18 %	96,84 %	92,17 %
Cut	94,17 %	94,53 %	89,02 %
Mühle	94,55 %	95,39 %	90,19 %
zerbröckelte Pellets	93,79 %	93,24 %	87,45 %
Pellets	93,63 %	93,25 %	87,31 %

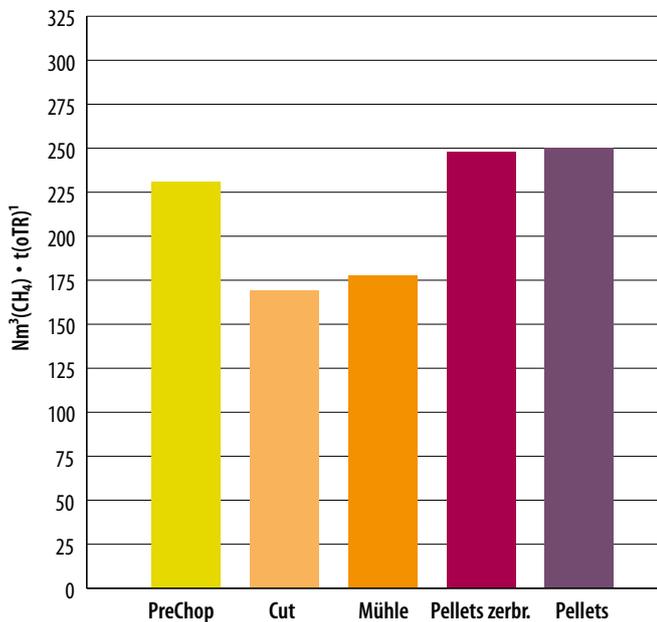
**Tabelle 5: Nm<sup>3</sup>(CH<sub>4</sub>)-t(oTR)<sup>-1</sup>**

PreChop	Cut	Mühle	zerbröckelte Pellets	Pellets
231,35	170,30	180,13	248,31	250,95

Tabelle 6: Parameter d. Vorbehandlung u. Vergärung

Strohlänge	20-40mm
Stroh mit Wasser aufheizen	bis 80 °C
Haltezeit bei 80 °C	60 Minuten
Abkühlung auf	40 °C
Zugabe zu dem Inokulum	bei 40 °C
Gärtestabbruch bei	28 Tagen

Abbildung 3: Ernte-/Strohvarianten bei 80 °C



Wendet man die Qualitätsmerkmale aus Tabelle 4 auf die  $\text{Nm}^3(\text{CH}_4) \cdot \text{t}(\text{OTR})^{-1}$  an, so errechnet sich pro Tonne Gärmasse Stroh eine Energie von:

Tabelle 7:  $\text{kWh} \cdot \text{t}(\text{GM})^{-1}$

PreChop	Cut	Mühle	zerbröckelte Pellets	Pellets
2.126	1.511	1.619	2.164	2.184

Die Energie aus pelletiertem Stroh liegt im Gärtest über den anderen, was nicht verwundert, da beim Pelletieren selbst schon einmal eine thermische Vorbehandlung mit Temperaturen zwischen 70 bis 99°C bei bis zu 2.000 bar Druck<sup>2</sup> erfolgte. Unter Kostengesichtspunkten ist die aufgefaserte (PreChop) Variante mit 2.126 kWh je Tonne Gärmasse Stroh zu bevorzugen. ▶



## System *Multitec*® *BioControl* – *BioControl 2*

Das Einstiegsmodell für die individuelle Prozessoptimierung  
bedienfreundlich – flexibel – effizient



- Zeit- und Kosteneinsparung durch permanente automatisierte Messung
- Hohe Bedienfreundlichkeit und individuelle Konfiguration
- Erfolgreiche Verbesserung der Gasqualität und Steigerung des Ertrags



### Kapitel III Vorbehandlungen mit verschiedenen Temperaturen

Im Rahmen des LSBL II Projektes wurden (und werden noch) weitere Untersuchungen durchgeführt, wobei die Temperaturen und Vorbehandlungszeiten variiert wurden. Das Stroh wurde mit der Quaderballenpresse gepresst und weder vorher zerfasert noch gemahlen. Es wurde auf die Länge von 20-40mm mit dem Multi-Cut gekürzt. Die Ergebnisse sind im ersten Augenblick unerwartet und bedürfen sicher noch weiterer Untersuchungen. Den höchsten Wert ergeben 25°C bei einer Halte-

zeit von 60 Minuten (bei einer Haltezeit von 30 Minuten, die leider nicht ermittelt wurde, läge der Wert eventuell sogar höher). Eine mögliche Erklärung könnte in dem Erhalt flüchtiger Säuren liegen, die bei höheren Temperaturen und längeren Vorbehandlungszeiten verloren gehen können. Weiterhin spricht für eine kurze Haltedauer, dass in den Varianten 75°C, 60' und 99°C, 60' die Ausbeute geringer wurde als in den Varianten 75°C, 30' und 99°C, 30'. Bezieht man die Qualitätsmerkmale aus Tabelle 9 auf den Wert bei 25°C des Gasertrages gem. Tabelle 8, so errechnen sich  $(268,94 \cdot 0,8856 \cdot 9,968) = 2.374 \text{ kWh}$  je Tonne Gärmasse Stroh.

Tabelle 8: Erweiterte Untersuchungen  $\text{Nm}^3(\text{CH}_4) \cdot \text{t}(\text{oTR})^{-1}$

25 °C, 60'	50 °C, 30'	50 °C, 60'	75 °C, 30'	75 °C, 60'	99 °C, 30'	99 °C, 60'
268,94	217,58	221,21	207,94	195,64	249,49	197,69

Abbildung 4: Strohvarianten mit Variationen der Temperatur

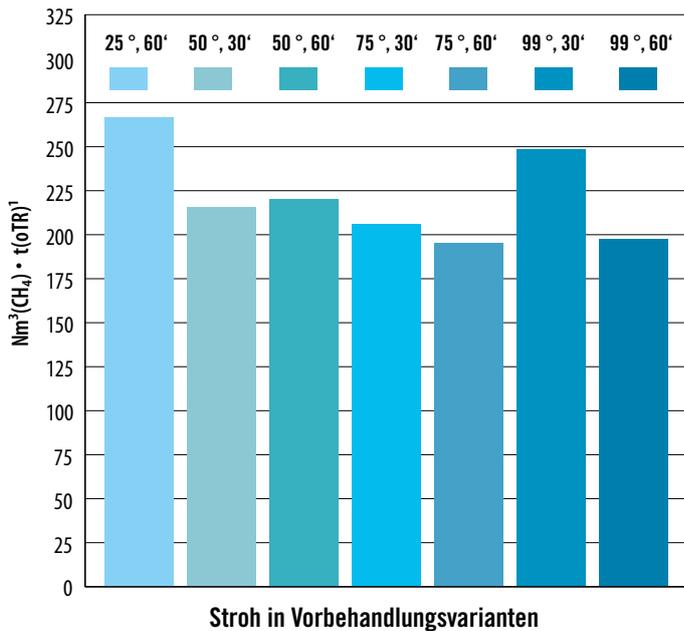


Tabelle 10: Parameter d. Vorbehandlung u. Vergärung

Unbehandeltes Weizenstroh		
TR	oTR	oTR/TR
94,09 %	94,12 %	88,56 %
Vorbehandlung des Weizenstroh durch Verdünnung		
Strohlänge 20-40mm		
Stroh mit Wasser bis zur gewünschten Temp. aufheizen		
Haltezeit bei x°C für x Minuten		
Abkühlung auf Inokulumtemperatur		
Zugabe zu dem Inokulum		
Gärtestabbruch bei 30 Tagen		

### Fazit

Gemäß Faustzahlen Biogas, KTBL, 3. Ausgabe 2013 ist für **unbehandeltes** Weizenstroh mit 86,00% TR und 90,00% oTR ein Gasertrag von  $210 \text{ Nm}^3(\text{CH}_4) \cdot \text{t}(\text{oTR})^{-1}$  zu erwarten. Dies entspricht  $(210 \cdot 0,86 \cdot 0,90 \cdot 9,968) = 1.620,20 \text{ kWh}$  pro Tonne Gärmasse. Betrachtet man die Ergebnisse unter ökonomischen Gesichtspunkten, dann führt das Streben nach „der letzten kWh“ zu weniger Gewinn als der Verzicht darauf.

### Beispiel:

- a)  $231,35 \text{ Nm}^3(\text{CH}_4) \cdot \text{t}(\text{oTR})^{-1}$  werden erreicht, es sollen z.B.
- b)  $325,00 \text{ Nm}^3(\text{CH}_4) \cdot \text{t}(\text{oTR})^{-1}$  sein,

was nun Investitionen erfordert. Auf Basis der KTBL-Qualitätsmerkmale für TR und oTR errechnen sich für  
**a)**  $(231,35 \cdot 0,86 \cdot 0,90 \cdot 9,968) = 1.784,90$  kWh Bioenergie und für  
**b)**  $(325,00 \cdot 0,86 \cdot 0,90 \cdot 9,968) = 2.507,45 \text{ kWh}$ .

Das Delta zwischen **a)** und **b)** beträgt demnach 722,55 kWh Bioenergie je Tonne Gärmasse Stroh, die in einem BHKW mit einem Wirkungsgrad von zum Beispiel 40% verstromt werden. Pro Tonne Gärmasse Stroh entstehen bei **b)**  $(722,55 \cdot 0,4) = 289,02 \text{ kWh}$  mehr als bei **a)**. Der Strom wird nach dem EEG vergütet, die Vergütung betrage 0,20 Euro. Bei 1.000 Tonnen Gärmasse Stroh entsteht somit ein Mehrerlös von jährlich

**Tabelle 9: Gemessene Gaserträge normiert auf 86 % TR und 90 % oTR ergeben pro Tonne Gärmasse:**

Kapitel I Mittelwert bei 99 °C	278,35 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(278,35-0,86-0,90-9,968) = 2.147,53 kWh
PreChop Variante aus Kapitel II	231,35 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(231,35-0,86-0,90-9,968) = 1.784,92 kWh
Cut Variante aus Kapitel II	170,30 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(170,30-0,86-0,90-9,968) = 1.313,90 kWh
gemahlene Variante aus Kapitel II	180,13 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(180,13-0,86-0,90-9,968) = 1.389,74 kWh
zerbröckelte Pellets aus Kapitel II	248,31 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(248,31-0,86-0,90-9,968) = 1.915,77 kWh
Pellets aus Kapitel II	250,95 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(250,95-0,86-0,90-9,968) = 1.936,14 kWh
25 °C, 60' aus Kapitel III	268,94 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(268,94-0,86-0,90-9,968) = 2.074,94 kWh
50 °C, 30' aus Kapitel III	217,58 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(217,58-0,86-0,90-9,968) = 1.678,68 kWh
50 °C, 60' aus Kapitel III	221,21 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(221,21-0,86-0,90-9,968) = 1.706,69 kWh
75 °C, 30' aus Kapitel III	207,94 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(207,94-0,86-0,90-9,968) = 1.604,31 kWh
75 °C, 60' aus Kapitel III	195,64 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(195,64-0,86-0,90-9,968) = 1.509,41 kWh
99 °C, 30' aus Kapitel III	249,49 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(249,49-0,86-0,90-9,968) = 1.924,87 kWh
99 °C, 60' aus Kapitel III	197,69 Nm <sup>3</sup> (CH <sub>4</sub> )-t(oTR) <sup>-1</sup>	(197,69-0,86-0,90-9,968) = 1.525,22 kWh

(289,02-0,2-1.000) = 57.803,66 Euro. Aus diesem Mehrerlös sind die spezifischen Mehrkosten für Strom, Personal, Wärme, Wartung, Unterhaltung, Zinsen, Tilgungen und Risikokosten zu erwirtschaften, weshalb man die mögliche Investitionssumme für beliebige Zeiträume berechnen kann. Scheidet die Anlage im Betrachtungszeitraum aus dem EEG aus und wechselt mit 0,148 Euro in die Ausschreibung, ist dies zu berücksichtigen. Zumindest aus Betreibersicht ist die Devise: „höher, schneller, weiter, insolvent“ nicht erstrebenswert.

Das aufgefasernde und geschnittene Stroh mit [231,35 Nm<sup>3</sup>(CH<sub>4</sub>)-t(oTR)<sup>-1</sup>] – der PreChop zerfasert die Halme und beschädigt die Wachsschicht ganz ähnlich wie Stroh aus einem Tretmiststall – ist hinreichend für den Gärprozess „beschädigt“. Wird dieses Stroh in Gärrest für eine Stunde [268,94 Nm<sup>3</sup>(CH<sub>4</sub>)-t(oTR)<sup>-1</sup>] in einem durchmischbaren Behälter eingeweicht, verursacht das geringe Investitions- und Betriebskosten. Die Kombination von beidem wurde bisher nicht gezielt untersucht, klingt aber vielversprechend und wird weiter verfolgt werden. Laut WEISER (2012) können, unter Beachtung einer ausgeglichenen Humusbilanz, jährlich etwa 8 bis 13 Millionen Tonnen Stroh in Deutschland ohne eine stoffliche Rückführung auf die Ackerflächen genutzt werden. Geht man von einer Nutzung in Biogasanlagen mit Gärrestrückführung auf die

Ackerflächen aus, so steigert sich dieses Potenzial noch<sup>3</sup>. Kommt der Humus aus dem Stroh über den Gärrest auf die Flächen zurück, ist es sinnvoller, das Stroh zu vergären statt unvergoren unterzupflügen. ◀

*Die Ergebnisse wurden im Rahmen des LSBL 2 Projektes erhoben. Weitere Informationen über das Projekt unter [www.interreg5a.eu](http://www.interreg5a.eu)*

<sup>1</sup> Heizwert in kWh je m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>

<sup>2</sup> [https://www.google.com/url?q=https://www.energetischebiomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB081B-D\\_Effigest\\_Schlussbericht\\_TIB.pdf&sa=U&ved=0ahUKEwiGz73L7IbgAhXNwKQKHgYdBiM4ChAWCB8wBA&usq=A0vVaw1Cp0I61CBvrHxj0wNASdd3](https://www.google.com/url?q=https://www.energetischebiomassenutzung.de/fileadmin/Steckbriefe/dokumente/03KB081B-D_Effigest_Schlussbericht_TIB.pdf&sa=U&ved=0ahUKEwiGz73L7IbgAhXNwKQKHgYdBiM4ChAWCB8wBA&usq=A0vVaw1Cp0I61CBvrHxj0wNASdd3)

<sup>3</sup> Fraunhofer IKTS (Dresden) FK 03KB081B

#### Autoren

**Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto**  
 BIOGAS - AKADEMIE®  
 ✉ info@biogas-akademie.de

**M.Eng. (FH) René Casaretto**  
 PhD Student, Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
 Hochschule Flensburg · Kanzleistr 91-93  
 24943 Flensburg  
 ☎ 04 61/80 51 524  
 ✉ rene.casaretto@hs-flensburg.de



## Rührwerk optimieren, Kosten reduzieren!

Steigern Sie die Effizienz Ihrer Biogasanlage und reduzieren Sie Ihre Stromkosten. Tauschen Sie z. B. ein altes 18,5-kW-Tauchmotor-Rührwerk durch ein effizientes 11-kW-Stallkamp-Modell aus und sparen Sie – bei gleicher Rührleistung – rund 4.000 Euro jährlich\*. Der Tausch amortisiert sich meist schon im ersten Jahr. Kontaktieren Sie unsere Spezialisten unter [www.stallkamp.de](http://www.stallkamp.de)!

- | pumpen
- | lagern
- | rühren
- | separieren

\*Die Höhe der tatsächlichen Ersparnis ist abhängig von Laufzeit, Strompreis, TS-Gehalt, Fermenterauslegung und Wirkungsgrad des Rührwerks.