Ungeeignete Messmethoden führen zu falschen Rentabilitätsprognosen

Es bestehen berechtigte Zweifel an der Zuverlässigkeit der Maßstäbe zur Messung der Erträge von Biogasanlagen. Damit verbunden ist die Frage, welchen Wert die Inputstoffe haben und welchen Gasertrag sie in der Realität liefern. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass eingelagerte Gärsubstrate im Laufe ihrer Lagerdauer einem biologischen Abbau unterliegen.

Von Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto, Prof. Dr. Jens Born und B.Sc. Corin Dirk Nikoleiski

Der Biogas-Branche mag es gehen, wie es will – entscheidend ist für die Autoren die Frage: „Wie geht es den Eigentümern von Biogasanlagen?“ Für Viele entpuppte sich der euphorisch beschrittene Weg vom „Landwirt zum Energiewirt“ wahrlich als Irrfahrt und ökonomisches Abenteuer. Neben vielen andere Gründen haben auch die – aus Sicht der Autoren – ungeeigneten Methoden einen Anteil an den enttäuschten Erwartungen.

Liegen einer Rentabilitätsprognose nicht die Methoden zugrunde, die für die besonderen Gegebenheiten des Betriebes einer Biogasanlage geeignet sind, wird sich die Prognose nicht erfüllen.

Die Autoren sind daher folgenden Fragen nachgegangen:

1. Sind die bisher verwendeten Standardmessverfahren geeignet, obwohl sie für die Tierernährung und die Klärtechnik entwickelt wurden?
2. Entsprechen sie noch dem Stand des heutigen analytischen (bio)chemischen Wissens?
3. Inwieweit wurde mit Näherungen (Beispiel Säurekorrektur) und realitätsfernen Annahmen (KTBL-Werte) gearbeitet?

In Teil 1 unserer Ausführungen widmen wir uns der Bestimmung der anorganischen Masse anhand der DIN EN 12879.

In Teil 2 betrachten wir Massen-Energiebilanzen und Silierverluste. Teil 3 widmet sich der Ermittlung von Trockenrückstand (TR), organischem Trockenrückstand (oTR) und Säurekorrekturen. Im 4. Teil geht es um die Gasertragsermittlungen nach der VDI 4630, die Anwendbarkeit des Hohenheimer Gasertragstests, die Aussagekraft der FoTS nach Weißbach, die Bedeutung der Weender Futtermittelanalytik und der Verdaulichkeitsquotienten nach Baserga. Zu allen Teilen stellen wir die ökonomischen Konsequenzen aus den von uns beobachteten Unsicherheiten bei Anwendung und Vergleich mit den von uns ermittelten Abweichungen dar, und im abschließenden Fazit entwerfen wir die aus unserer Sicht nötigen Konsequenzen.

METHODENKRITIK TEIL 1

Die Bestimmung der anorganischen Masse anhand der DIN EN 12879

Die BIOGAS-AKADEMIE® hatte das Kompetenzzentrum Biomassenutzung, FuE-Zentrum FH Kiel GmbH mit der Durchführung einer Zeitreihenstudie beauftragt. Die Arbeiten wurden an der Fachhochschule Flensburg durchgeführt, die in der Zeit von Mai 2014 bis April 2015 wöchentlich die Proben von fünf Biogasanlagen im Rahmen dieser Zeitreihe untersuchte. Im Mai 2014 gingen Proben aus der einsilierten Ernte des Jahres 2013 ein und ab Dezember 2014 die einsilierte Ernte des Jahres 2014.

Die Proben stammten von Anlagen aus Schleswig-Holstein und Sachsen, wobei die elektrische Dimension der Anlagen bei rund 1,5 Megawatt lag. Anlage 1 wird als Trockenfermentationsanlage betrieben, Anlage 2 als Gülleanlage. Beide Anlagen verwenden jedoch die gleiche Maissilage, weshalb sie statistisch als eine Anlage betrachtet werden. Anlage 5 hatte die Rohstoffe in Schichten einsiliert und fällt daher für die anstehende Betrachtung aus, da wir uns in diesem Kapitel ausschließlich mit der Maissilage beschäftigen wollen. Statistisch betrach-

Abbildung 1: Gleichgewichtsdrücke bei der thermischen Zersetzung der Erdalkalimetallcarbonate. Bei der Zersetzungstemperatur erreicht der CO_2-Partialdruck den Wert des normalen Luftdrucks

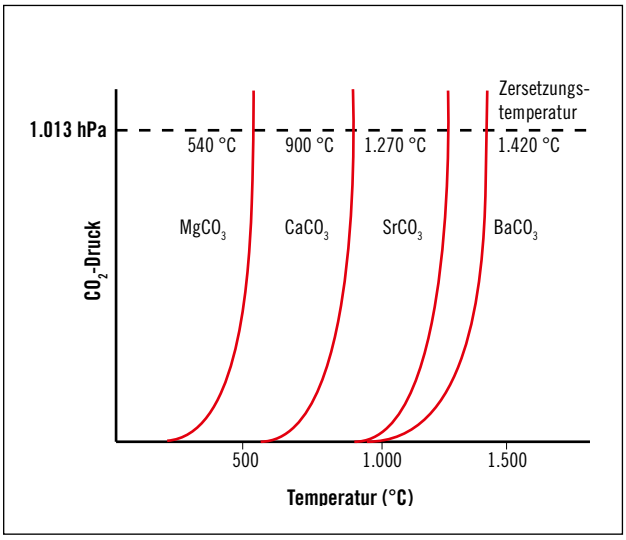


Abbildung 2 zeigt die bei 550 °C und 2 Stunden Glühzeit nicht vollständig veraschten Kohlenstoffe.

Abbildung 3 zeigt die bei 800 °C und 2 Stunden Glühzeit vollständig veraschten Kohlenstoffe.

Abbildung 4: aTR-Zeitreihe – im Versuch gemessene Ergebnisse im Vergleich zu den KTBL-aTR-Werten

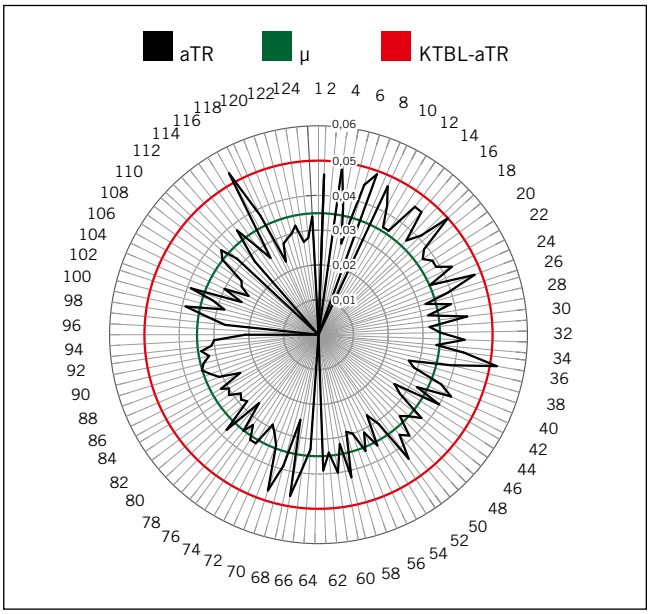
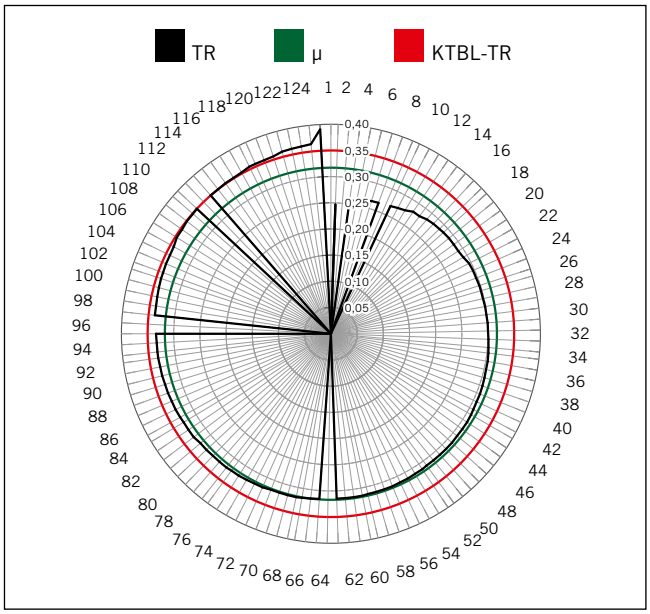


Abbildung 5: TR-Zeitreihe – im Versuch gemessene Ergebnisse im Vergleich zu den KTBL-TR-Werten



tet werden somit die Anlagen 1, 3 und 4. Nach DIN EN 12879 erfolgt die Ermittlung des Glührückstandes im Muffelofen bei 550 Grad Celsius (°C). Abbildung Nr. 1 wurde dem Lehrbuch Allgemeine und Anorganische Chemie [Michael Binnewies et al. 2004] entnommen und graphisch überarbeitet. Innerhalb des Temperaturbereiches von 550 bis 800 °C werden nicht mehr anorganische Substanzen als bei 550 Grad Celsius zersetzt, weshalb sich eine Differenz ausschließlich auf die Veraschung von organischer Masse zurückzuführen lässt.

Abbildung Nr. 4 zeigt das Ergebnis bei 800 °C von 119 bereinigten (125 unbereinigt) Maissilageproben in aufsteigender Sortierung des Trockenrückstandes aus dem genannten Zeitraum (aTR=anorganischer Trockenrückstand). Die Bereinigung beruht auf offensichtlichen Probenahmefehlern im Vergleich zur jeweiligen Vor- und Nachwoche. Da die Betreiber gleichzeitig die Probennehmer waren, wurden zum Beispiel Proben der vollkommen regendurchnässten Anschnittfläche genommen, die sich deutlich von den anderen Proben unterschieden. Nach den KTBL-Faustzahlen Biogas, 3. Ausgabe 2013, liegt der anorganische Anteil der Maissilage (rote Linie im Diagramm) bei 5,00 %, der organische Anteil oTR als Differenz von TR und aTR bei 95 %. Durch die Dreifachbestimmung wurden 375 Proben verascht. Der bereinigte Mittelwert der anorganischen Masse (grüne Linie im Diagramm der Abbildung 4) beträgt 3,49 % bei einer Standardabweichung von 0,68 %. In der Praxis zeigt sich durch Anwendung der höheren Temperatur ein organischer Anteil von rund 96,51 %, was sich positiv auf die prognostizierten Gaserträge auswirkt. Die Verteilung der Häufigkeit der aTR-Gehalte gliederten wir in bestimmte Intervalle, siehe Tabelle 1. Lediglich 18 % der Proben liegen im Bereich von >4 % bis 5 % aTR.

Gemessene TR-Gehalte: Abbildung Nr. 5 ▶

Tabelle 1: Verteilung der Häufigkeit der aTR-Gehalte in Intervalle gegliedert

Intervall	Absolut = 119	Relativ
<=0,02	0	0 %
>0,02 <=0,03	30	25 %
>0,03 <=0,04	66	55 %
>0,04 <=0,05	21	18 %
>0,05 <=0,06	2	2 %

Tabelle 2: Verteilung der Häufigkeit der TR-Gehalte in Intervalle gegliedert

Intervall	Absolut = 119	Relativ
<=0,25	1	1 %
>0,25 <=0,28	8	7 %
>0,28 <=0,31	32	27 %
>0,31 <=0,34	54	45 %
>0,34 <=0,37	23	19 %
>0,37 <=0,40	1	1 %

zeigt die (bereinigten) gemessenen TR-Gehalte (schwarze Linie im Diagramm) für Silomais aus der Zeitreihe in aufsteigender Sortierung (TR=Trockenrückstand). Die Verteilung der Häufigkeit der TR-Gehalte gliederten wir in Intervalle, siehe Tabelle 2. 80 % aller Werte liegen unter dem TR-Gehalt von 35 %. Abbildung 4 weist überdies eine fallende Tendenz der absoluten anorganischen Massen in Beziehung zum ansteigenden Trockenrückstand aus.

Der Mittelwert des TR-Gehaltes (grüne Linie im Diagramm der Abbildung Nr. 5) beträgt 31,71 % bei einer Standardabweichung von 2,58 %. Demnach lagen die Erntejahre 2013/2014 deutlich unter dem KTBL-Prognosewert von 35 % TR (rote Linie im Diagramm), was sich wiederum nachteilig auf die prognostizierten Gaserträge auswirkt. Tabelle 3 vergleicht die KTBL-Prognosen der Jahre 2009 und 2013. Demnach steigt die anorganische Masse mit ansteigenden TR-Gehalten absolut um 10 Kilogramm oder 6,06 %, was sich in der Zeitreihenuntersuchung nicht bestätigte.

Standort Sachsen: Abbildung 6 zeigt die (bereinigten) aTR-Gehalte aufsteigend nach TR-Gehalt sortiert. Beginnend mit KW 20 in 2014 bis KW 18 in 2015 werden somit die aTR-Gehalte der konservierten Ernten der Jahre 2013 und 2014 abgebildet. Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass 16 % der Proben im Bereich von 5 % aTR liegen. Bezogen auf Tabelle 5 erreichten nur 6 % der Proben aus zwei Erntejahren in Sachsen den Prognosewert von 35 % TR.

Ökonomische Betrachtung I

Im Folgenden nehmen wir eine ökonomische Betrachtung der ermittelten Ergebnissen dieses Kapitels vor. Eine Biogasanlage setzt 10.000 Tonnen Gärmasse aus Maissilage ein. Die Prognose auf Basis der KTBL-Werte finden Sie in Tabelle 6. Auf Basis der Werte in Tabelle 6 müsste die Mais-Gärmasse 11.200.000 kWh liefern. Kaufen wir die Mais-Gärmasse zu einem Preis von 45 Euro pro Tonne Frischmasse ein, so müssen 450.000 Euro ausgegeben werden.

Durch die Anwendung des geringeren aTR-Gehaltes ergibt sich ein höherer oTR-Gehalt (96,51 %), siehe Tabelle 7. Aufgrund der höheren organischen Masse ergibt sich eine höhere Energiedichte, sodass sich aus 10.000 Tonnen Mais-Gärmasse 11.378.021 kWh erzeugen lassen. In Tabelle 8 wird auch mit dem höheren oTR-Gehalt gerechnet wie in Tabelle 7, nur mit dem Unterschied, dass wir hier ausgerechnet haben, wie viel Mais-Gärmasse die Anlage einsparen kann, um 11.200.000 kWh produzieren zu können. Das Ergebnis finden Sie in der linken Spalte von Tabelle 8. Demnach benötigt die Anlage mit 9.844 Tonnen Mais-Gärmasse 156 Tonnen weniger als in Tabelle 6. Dabei kann der Anlagenbetreiber 7.041 Euro an Rohstoffkosten einsparen.

Nun stellt sich die Frage, welche Auswirkungen die Berücksichtigung des tatsäch-

Abbildung 6: aTR aufsteigend nach TR-Gehalt sortiert (Anlage 3, Sachsen)

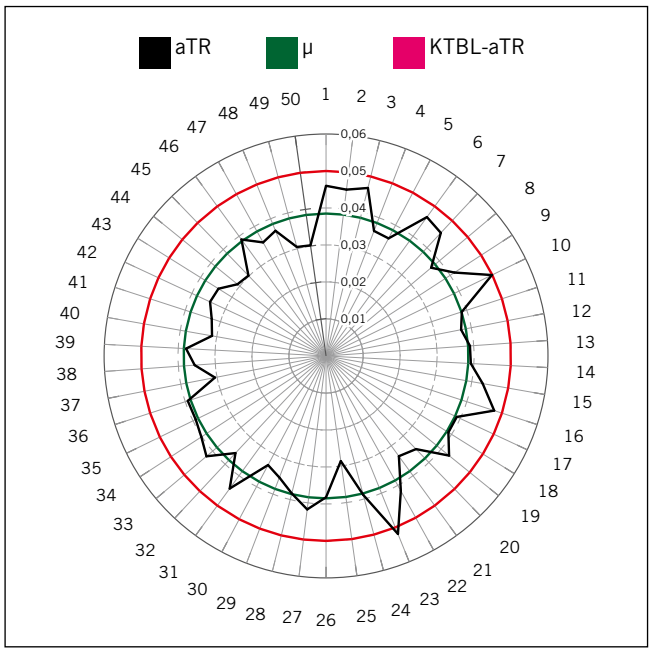


Abbildung 7: TR aufsteigend sortiert (Anlage 3, Sachsen)

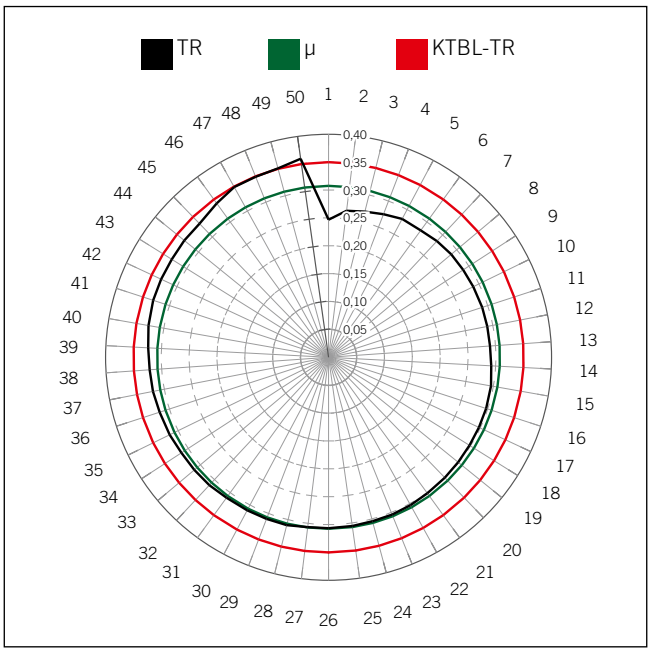


Tabelle 3: Vergleich der KTBL-Prognosen von 2009 und 2013 hinsichtlich anorganischer Massen und TR-Gehalten

	kg TR	kg oTR	kg aTR	% aTR
KTBL 2013	3.500 kg	3.325 kg	175 kg	5 %
KTBL 2009	3.300 kg	3.135 kg	165 kg	5 %

Tabelle 4: Verteilung der Häufigkeit der aTR-Gehalte (siehe Abbildung 6) in Intervalle gegliedert (Anlage 3, Sachsen)

Intervall	Absolut = 50	Relativ
<=0,0250	0	0 %
> 0,0250 <=0,0300	1	2 %
> 0,0300 <=0,0350	11	22 %
> 0,0350 <=0,0400	22	44 %
> 0,0400 <=0,0450	8	16 %
> 0,0450 <=0,0500	7	14 %
> 0,0500 <=0,0550	1	2 %

Tabelle 5: Verteilung der Häufigkeit der TR-Gehalte (siehe Abbildung Nr. 7) in Intervalle gegliedert (Anlage 3, Sachsen)

Intervall	Absolut = 50	Relativ
<=0,25	1	2 %
>0,25 <=0,28	3	6 %
>0,28 <=0,31	23	46 %
>0,31 <=0,34	18	36 %
>0,34 <=0,37	5	10 %
>0,37 <=0,40	0	0 %

lich gemessenen TR-Gehaltes hat. Die Auswirkungen zeigt Tabelle 9. Der Betreiber hat trotz des höheren oTR-Gehaltes von 96,51 % nicht die 11.200.000 kWh erreicht, sondern nur 10.308.487 kWh. Er hat also 1.069.534 kWh beziehungsweise 8 % zu wenig produziert. Er hätte aufgrund des niedrigeren TR-Gehaltes von 31,71 % 865 Tonnen mehr an Mais-Gärmasse benötigt und dafür 38.918 Euro mehr ausgeben müssen.

Warum jedoch auch diese Korrektur der Prognose noch falsch ist, werden die folgenden Kapitel ebenso aufzeigen wie die Notwendigkeit weiterer systematischer Untersuchungen.

Tabelle 6: Werte nach KTBL-Zahlen

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
10.000	35,00	95,00	3.325	33,25	1.120

Tabelle 7: Anwendung des höheren oTR-Gehaltes und seine Auswirkungen

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
10.000	35,00	96,51	3.378	33,78	1.138

Tabelle 8: Höherer oTR-Gehalt senkt Gärmassebedarf

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
9.844	35,00	96,51	3.325	33,78	1.138

Tabelle 9: Auswirkungen des tatsächlich gemessenen TR-Gehaltes

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
10.000	31,71	96,51	3.060	30,60	1.031

N·DYN

Innovative Additive für Ihren maximalen Biogas-Ertrag

N·DYN Additive sind die optimal abgestimmte Kombination ertragsteigernder Produkte für den Bedarf von Biogasanlagen.

- Stabilisieren die biologischen Prozesse
- Sparen Substrat
- Senken Ihren Eigenstromverbrauch
- Erhöhen den Methan-Ertrag
- Steigern die Leistung
- Werden seit Jahren erfolgreich eingesetzt

N·DYN orientiert sich bei der Rezeptur und Dosierung der Additive an den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Die N·DYN Additive schaffen auf diese Weise optimale Wachstums- und Stoffwechsel-Bedingungen für Bakterien im Fermenter und steigern zuverlässig und nachhaltig den Wirkungsgrad.

Mit N·DYN gewinnen Sie mehr Energie aus Ihrer Anlage!

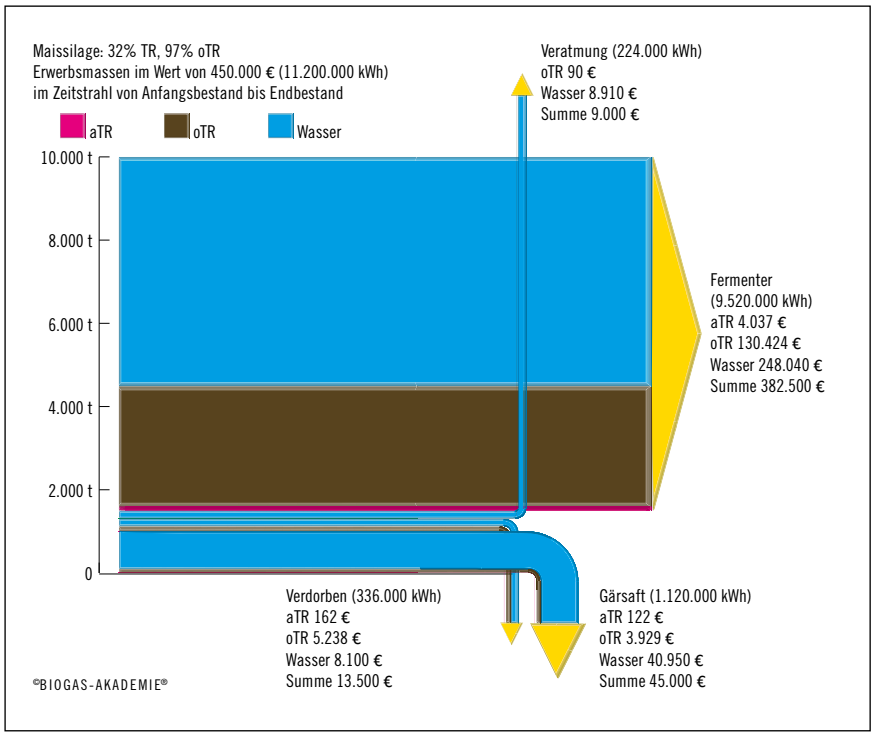
DIE NEUE GENERATION FERMENTER-ADDITIVE

Milkivit

Trouw Nutrition Deutschland GmbH
Gempfinger Straße 15
86666 Burgheim

Tel. 08432 89-0
Fax 08432 89-150
milkivit@nutreco.com
www.milkivit.com

Abbildung 8: Maissilage – Masseströme und deren energetische (Basis KTBL mit 1.120 kWh/t) sowie ökonomische Verteilung



WMETHODENKRITIK TEIL 2

Massen-Energiebilanzen und Silierverluste

Abbildung Nr. 8 zeigt beispielhaft die Masseströme einer Anlage und deren energetische (Basis KTBL mit 1.120 kWh/t) sowie ökonomische Verteilung. § 44c „Sonstige gemeinsame Bestimmungen für Strom aus Biomasse gemäß EEG 2017 (1): Der Anspruch nach § 19 Absatz 1 für Strom aus Biomasse besteht unbeschadet des § 44b nur, 1. wenn der Anlagenbetreiber durch eine Kopie eines Einsatzstoff-Tagebuchs mit Angaben und Belegen über Art, Menge und Einheit sowie Herkunft der eingesetzten Stoffe nachweist, welche Biomasse und in welchem Umfang Speichergas oder Grubengas eingesetzt werden."

Die BIOGAS-AKADEMIE® erstellt Gutachten für die Kreditwirtschaft. In ihrem Archiv befinden sich mehr als 300 Umweltgutachten, da zu jedem Fall die Unterlagen der vergangenen drei Jahre angefordert werden. In keinem einzigen Umweltgutachten konnte der Umweltgutachter flüssigen Mais, flüssige Zuckerrübe, flüssigen Roggen oder flüssiges Gras erfassen, da dafür keine Messvorrichtungen an den Anlagen bestehen (ihnen ist kein Vorwurf zu machen).

Das Fehlen dieser Messvorrichtungen ist dann sehr sachlogisch, wenn man den Aussagen aus Wissenschaft und landwirtschaftlichen Landesämtern folgt. *„Für Mais läge der extrapolierte TS-Schwellenwert unter den o. g. Druckverhältnissen bei etwa 21-22 % [140], mit 30 % TS-Gehalt sind Stapelhöhen bis 12 m ohne Gärsaftabfluss theoretisch möglich" [Kahlstatt 1999, Seite 8].*

Ebenso auch: *„Dies und die Tatsache, dass heute teils sehr hohe Stapelhöhen vorliegen, ist der Grund für die Anhebung der Grenze in der Trockenmasse der Gesamtpflanze von 28 auf 30 % TM, unterhalb der ein Anfall von Gärsaft zu erwarten und die für die Bemessung des Auffangbehälters und die Zulässigkeit von Foliensilos ohne dichte Bodenplatte von Bedeutung ist"* [LfL-Information, 8. Auflage 2013, Seite 9].

Wenn kein Gärsaft anfällt, gibt es auch keine Notwendigkeit zur Installation einer Messvorrichtung. Demnach ist eine solche Messvorrichtung unnötig, da oberhalb eines Trockenrückstandes von 30 % kein Gärsaft austritt und für Biogasanlagen höhere TR-Gehalte geerntet werden. Die Versuchsanlage Grub verfügt über eine Siloanlage mit entsprechenden Messvorrichtungen.

Die Abmessungen lauten wie folgt:

4 Silos mit: B = 4,50 m, L = 27,0 m, H = 1,45 m, Rauminhalt je Kammer = 175 m³.

1 Traunsteiner Silo mit: B = 7,50 m, L = 27,0 m, H = 1,45 m. 1 asphaltierte Platte mit: B = 9,80 m, L = 27,0 m, H = 1,45 m [Kahlstatt 1999, Abb. 12]. Flüssiger Mais spielt in der Ernährung von Tieren keine Rolle und Siloanlagen zur Tierernährung unterscheiden sich signifikant von Siloanlagen zur Konservierung für Biogasanlagen, deren Abmessungen eher B = 40 m, L = 80 m, H = 5 m betragen.

Foto Nr. 1 zeigt eine Siloanlage, die im Januar 2017 noch mit Flatterband abgesperrt war, da Lebensgefahr durch aus 10 Metern Höhe herabstürzende gefrorene Massen gegeben war. Foto Nr. 2 zeigt ein Beispiel für die Technik, mit der Maissilage für eine Biogasanlage verdichtet wird. Hier werden Verdichtungsleistungen und Stapelhöhen erreicht, die fern der Tierernährung sind, und hier tritt – nach Betreiberangaben – auch oberhalb von 30 % TR-Gehalt ganzjährig Gärsaft aus.

Werden flüssiger Mais, flüssige Zuckerrübe, flüssiger Roggen und flüssiges Gras nicht bilanziert, entstehen einerseits virtuelle Vermögensmassen in der Handelsbilanz und andererseits freut sich der Betreiber über die Gasausbeute jeder Tonne, die von den (nicht geeichten) Wiegezellen seines Beschickers erfasst wurden. Die Aussage: „Ich erreiche 130 % der KTBL-Werte" ist dann nicht verwunderlich.

Ökonomische Betrachtung II

Ein Anlagenbetreiber lagert 10.000 Tonnen Maissilage ein. Die Betreiberrealität kann beispielhaft wie folgt beschrieben werden: Über die geeichte Fahrzeugwaage werden eingehende 10.000 Tonnen Masse im Wert von 450.000 Euro erfasst und der Buchhaltung aufgegeben. Die Silierverluste werden auf 500 Tonnen bzw. 22.500 Euro geschätzt. Die nicht geeichten und oftmals nachlässig kalibrierten Wiegezellen des Beschickers erfassen die Mengen, die in die Gärstrecke eingetragen werden, und weisen 8.500 Tonnen aus. Der Rest-

Foto 1

Foto 2

FOTOS: RAINER CASARETTO

Verwendete Abkürzungen:

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
GM	Gärmassen: Von den (nicht geeichten) Wiegezellen des Beschickers erfasstes Erntegut nach der Konservierung und den damit verbundenen Silierverlusten	t
EM	Erwerbsmassen ohne Silierverluste	t
TR	Trockenrückstand: Trocknung bei 105 °C bzw. bis zur Gewichtskonstanz	%
aTR	anorganischer Trockenrückstand: Glührückstand bei der Veraschung im Muffelofen	%
oTR	organischer Trockenrückstand: Differenz von TR und aTR	%
µ	Mittelwert	
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft	

bestand beträgt demnach 1.000 Tonnen bzw. 45.000 Euro und wird ebenfalls der Buchhaltung aufgegeben.

Da 1.000 Tonnen als flüssiger Rohstoff der Gärstrecke zugeführt und nicht erfasst wurden, beträgt der reale Restbestand 0 Tonnen oder 0 Euro, was nicht auffällt, da im Silo auch noch Ware des Vorjahres eingelagert war und lediglich optisch abgeschätzt wurde. Folglich weisen Handelsbilanz, Einsatzstofftagebuch und Umweltgutachten keine korrekten Werte aus. Bilanziell besteht hier ein erhebliches Risiko der mehrjährigen Kumulation, wenn schon nach einem Jahr 45.000 Euro zu bewerten sind. Die Erwerbsmassen im Wert von 450.000 Euro in Abbildung 8 verteilen sich im Rahmen der Konservierung/Lagerung in:

a. Veratmungsverluste im Wert von 9.000 Euro.

b. Nicht mehr fermentierbare Ware im Wert von 13.500 Euro.

c. Den Gärsaft im Wert von 45.000 Euro und

d. die Gärmasse im Wert von 382.500 Euro.

Ebenso ist das Risiko möglicher Rückforderungsansprüche auf erhaltene EEG-Vergütungen zu beachten, wenn durch flüssige NawaRo vergütungsrelevante Grenzen nicht eingehalten werden. Eine telefonische Betreiberbefragung vom 1. August 2017 bei fünf Anlagen mit jeweils 1,5 MW Leistung brachte eine grobe Schätzung der austretenden Gärsäfte zwischen 5 % (bei 40 % TR, 5 Metern Stapelhöhe und 100 % Mais) bis 40 % (bei 26 % TR, 8 Metern Stapelhöhe und 100 % Zuckerrüben).

Die Bandbreite der Schätzungen wird naturgemäß durch TR-Gehalt, Stapelhöhe, Dichte und Rohstoff beeinflusst. Insbesondere Schichtensilagen aus Mais und Zuckerrübe oder Mais und Roggen weisen demnach sehr hohe Werte aus. Genaue Messungen oder aktuelle und belastbare Studien liegen allerdings zurzeit noch nicht vor.

Fazit: Die Methoden der Masseerfassung sind ungenau, führen zu falschen Rentabilitätsrechnungen und die Gärsaftmengen sollten dringend im Rahmen einer Studie überprüft werden. ▶

Stallkamp

Typisch Stallkamp.

Behälter und Technik für Biogasanlagen, bei denen Preis und Leistung stimmen.

| pumpen
| lagern
| rühren
| separieren

Tel. +49 4443 9666-0
www.stallkamp.de

MADE IN DINKLAGE

METHODENKRITIK TEIL 3

Die Ermittlung von Trockenrückstand (TR), organischem Trockenrückstand (oTR) und Säurekorrekturen

Die Bestimmung des Trockenrückstands (TR) erfolgt durch das Behandeln der Substratproben bei 105 °C bis 110 °C so lange, bis sich das Gewicht nicht ändert. Die Intention ist, dass dann das gesamte Wasser aus der Frischmasse verdampft ist. Allerdings verdampfen dabei auch in der Frischmasse enthaltene organische Flüssigkeiten, die aber leicht vergärbar sind und zur Biogasbildung beitragen.

Alle darauf aufbauenden Analysen (oTR) und Biogasertragsabschätzungen sind also zu niedrig. Das ist bei Maissilage, in der der Anteil gering ist, eher unerheblich als im Fall von Zuckerrüben, bei denen dieser Anteil signifikant hoch ist. Um diesen Fehler zu vermeiden, wurde die sogenannte Säurekorrektur eingeführt. Sie besteht in der Untersuchung dieser organischen Flüssigkeiten aus der Probe mittels eines analytischen Standardverfahrens, der Chromatographie. Dieses Verfahren gestattet es nicht nur, die verschiedenen Substanzen zu trennen, sondern so jede organische Substanz in der Probe zu quantifizieren. Aus diesen Informationen lassen sich dann die Gaserträge ermitteln, die bei der TR-Bestimmung unberücksichtigt geblieben sind. Dieses Verfahren liefert unserer Erfahrung nach sehr genaue Biogasertragsabschätzungen. WEIßBACH & STRUBELT (2008 a, 2008 b, 2008 c) schlugen ein Verfahren vor, bei dem die chromatographisch gewonnenen Daten in Klassen (organische Säuren, einwertige und zweiwertige Alkohole etc.) zusammengeführt und dann die Gaserträge über eine empirisch ermittelte Regressionsgleichung abgeschätzt werden.

Der organische Trockenrückstand wird, wie schon in Teil 1 beschrieben, durch Veraschung im Muffelofen ermittelt. Auch hier führen „falsche“ Methoden mit zu geringen Temperaturen dazu, dass der organische Anteil geringer ausgewiesen wird, als er tatsächlich ist. Dazu eine beispielhafte Darstellung mit 10.000 Tonnen Erwerbsmasse (EM) Mais: Über die geeichte Fahrzeugwaage werden 10.000 Tonnen EM Mais im Wert von 450.000 Euro oder 11.378.021 kWh mit einer Energiedichte von 1.138 kWh pro Tonne EM erfasst und einsiliert.

Im Silierprozess tritt Gärsaft (Siliersaft) im Wert von 45.000 Euro oder 292,578 kWh mit einer Energiedichte von 293 kWh pro Tonne Gärmasse aus, siehe Tabelle 11. Es verbleiben im Silostapel 405.000 Euro

Tabelle 10: Anwendung des höheren oTR-Gehaltes

t EM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t EM
10.000	35,00	96,51	3.378	33,78	1.138

Tabelle 11: Werte des austretenden Gärsaftes

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
1.000	9,00	96,51	87	8,69	293

Tabelle 12: Bewertung der Gärmasse im Silo nach Abzug der Gärsaftverluste

t GM	% TR	% oTR	t oTR	% oTR/TR	kWh/t GM
9.000	37,89	96,51	3.291	36,57	1.232

PRONOVA BIOGASANALYSE

GASANALYSENTECHNIK
BIOGASANALYSENTECHNIK
WASSERANALYSENTECHNIK
AGRARMESSTECHNIK

PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co. KG
Groninger Straße 25 I 13347 Berlin
Tel +49 (0)30 455085-0 – Fax -90
info@pronova.de I www.pronova.de

FOS/TAC 2000
automatischer Titrator zur Bestimmung von FOS, TAC und FOS/TAC

SSM 6000 ECO

proCAL

mit proCAL für SSM 6000, die vollautomatische, prüfgaslose Kalibrierung

SSM 6000
der Klassiker für die Analyse von CH_4, H_2S, CO_2, H_2 und O_2 mit und ohne Gasaufbereitung

www.pronova.de

Tabelle 13: Auswirkungen der Säurekorrektur

45 €/t GM für Ware mit 35% TR (10.000 t GM = 450.000 €)					
t GM	% TR	t TR	% oTR	t oTR	€
Vor der Korrektur gem. Trockenschrank:					
10.000	31,46	3.146	95,30	2.998	404.527
Korrektur durch Chromatographen:					
10.000	34,61	3.461	95,75	3.313	444.986
Korrektur durch Schätzgleichung:					
10.000	33,55	3.355	95,61	3.208	431.357

oder 11.085.443 kWh mit einer Energiedichte von 1.232 kWh pro Tonne Gärmasse, siehe Tabelle 12. Von diesem Silostapel wird eine Probe gezogen und im Labor analysiert. Bei der Trocknung verdampfen die organischen Flüssigkeiten und die ausgewiesene organische Masse ist geringer als die tatsächliche organische Masse. Die Methode weist also zu geringe Werte aus.

Selbst eine Korrektur, mit der die organische Masse wieder erhöht wird, erfasst den Gärsaft nicht und weist immer noch weniger organische Masse aus, als dem fermentativen System tatsächlich zugeführt wurde. Durch den Silierprozess hat sich zudem der Wert der Ware erhöht, da seine Umsetzungsgeschwindigkeit, die Vergärbarkeit, durch den Silierprozess verbessert wurde, was sich in der benötigten Verweilzeit bzw. im benötigten Faulraumvolumen niederschlägt.

Tabelle 14: Einfluss verschiedener Flüchtigkeitsquoten von Milchsäure auf TR- und oTR-Gehalt

	% TR	t TR	% oTR	t oTR	€
3 %	33,49	3.349	95,60	3.202	430.586
8 %	33,55	3.355	95,61	3.208	431.357
16 %	33,64	3.364	95,62	3.217	432.514

Ökonomische Betrachtung III

In Tabelle 13 sind die Auswirkungen der Säurekorrektur dargestellt. Die Schätzgleichung beinhaltet eigene Flüchtigkeitsquoten und Standardabweichungen für die Einzelpositionen: Milchsäure, Fettsäuren, 1,2-Propandiol und Alkohole. Allein die Anwendung der Schwankung der Flüchtigkeitsquote der Milchsäure auf den angegebenen Höchstwert von 16 % den, angegebenen Mittelwert von 8 % und den niedrigsten Wert von 3 % führt zu den Zahlen in Tabelle 14.

Es ist daher sicher anzunehmen, dass eine Anwendung der Flüchtigkeitsquoten auf die anderen Bestandteile (Tabelle 14 betrachtet nur die Auswirkung der Milchsäure) die gesamte Schwankungsbreite erhöht. Für die Bepreisung angelieferter Siloware nach deren TR-Gehalt spielt jede Säurekorrektur eine entscheidende Rolle für Verkäufer und Käufer. Für die Siloverwiegung gilt ein Eichintervall von drei Jahren und eine Systemgenauigkeit von 0,2 %. Die Ergebnisse geeichter Waagen werden deshalb im Geschäftsverkehr als wahre Werte anerkannt. Führt ein Verzicht auf die Schätzgleichung und die Vornahme der Korrektur durch die vorliegenden Werte der Chromatographie zu einer „wahreren" Bepreisung? ▶

METHODENKRITIK TEIL 4

Gasertragsermittlungen nach der VDI 4630, die Anwendbarkeit des Hohenheimer Gasertragstests, die Aussagekraft der FoTS nach Weißbach, die Bedeutung der Weender Futtermittelanalytik, der Verdaulichkeitsquotienten nach Baserga und der KTBL-Richtwerte

Es gibt verschiedene Methoden zur Vorhersage möglicher Biogaserträge. Jede Methode führt zu anderen Ergebnissen. Rentabilitätsberechnungen werden also, je nach zugrundeliegender Methode, zu unterschiedlichen Aussagen führen.

KTBL

Allgemein anerkannt sind die Faustzahlen Biogas des KTBL, 3. Auflage 2013. Dort werden auf Seite 133 Richtwerte für die Gasausbeute angegeben, weshalb es von Interesse ist zu wissen, auf welchen Methoden sie beruhen. Auf den Seiten 125 bis 130 werden verschiedene Methoden (Batchversuche, kontinuierliche Versuche, Rechenmodelle) beschrieben und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile genannt.

Zusammenfassend ist das Ergebnis auf den Seiten 126 und 132 wie folgt zu lesen: *„Verlässliche Methode, um die Biogas- und Methanausbeuten von Substraten zu ermitteln und so ihren Einsatz ökonomisch zu bewerten. Die Werte entsprechen Biogasausbeuten von Praxisanlagen bei ausreichender hydraulischer Verweilzeit (ca. 100 Tage) und intakter Gärbiologie (Essigsäureäquivalent unter 100 mg/1) […] Bei den Richtwerten für die Gasausbeuten handelt es sich um statistisch abgesicherte Angaben aus Laboruntersuchungen, die zusätzlich mit einer Expertengruppe abgestimmt sind.“*

VDI 4630

„Gärtests erlauben keine Aussagen zur Biogasausbeute unter Praxisbedingungen aufgrund möglicher negativer oder positiver Synergieeffekte“ (VDI 4630, November 2016, Seite 46). Die VDI 4630 definierte bis November 2016 ein Abbruchkriterium von 1 % des bis zu diesem Zeitpunkt angefallenen Biogasgesamtvolumens (VDI 4630, August 2004, Seite 30). Ab November 2016 gilt: *„Als Abbruchkriterium für den Versuch gilt, dass die tägliche Biogasrate an drei aufeinanderfolgenden Tagen unter 0,5 % des bis zu diesem Zeitpunkt angefallenen Biogasgesamtvolumens beträgt“* (VDI 4630, November 2016, Seite 63).

Die Änderung ab November 2016 führt im Vergleich zur vorherigen Norm bei schwer abbaubaren Rohstoffen zur Messung höherer Gasproduktionen. Wenn das vorhandene Volumen (Verweilzeit) der Gärtestdauer entspricht, wird die Prognose damit der Realität nahekommen. Wenn sich der Gärtest hingegen auf eine Monovergärung bezieht, bleiben alle Einflüsse der Rezeptur unberücksichtigt und es gilt die Aussage der Norm auf Seite 46.

HBT (Hohenheimer Biogasertragstest)

Erfolgt der Gärtest nach der HBT-Methode, vermerkt Ohl in „Ermittlung der Biogas- und Methanausbeute ausgewählter Nawaro“ 2011:

1. *„Die Substrate erreichen im Batch-Test wesentlich geringere Gaserträge als im HBT“ (Seite 144).*
2. *„Demzufolge sind die im HBT ermittelten Gaserträge durchschnittlich 1,14-mal höher als die im Batch bestimmten Gaserträge“ (Seite 145).*
3. *„Für alle pflanzlichen Substrate liegt die mit dem HBT gemessene immer über der theoretisch berechneten Methanproduktion“ (Seite 170).*

Da die Rohstoffe für den HBT auf 1 mm Korngröße vorvermahlen werden müssen und nur sehr wenige Praxisanlagen über entsprechende Vermahlungssysteme verfügen, muss die Relevanz der Aussage dieser Methode bei Rentabilitätsprognosen berücksichtigt werden. Gehen viele HBT-Ergebnisse in andere statistische Daten ein, führt dies zu einer Aussageverschiebung.

FoTS

Frühzeitig und richtig erkannte Weißbach die Untauglichkeit der Ergebnisse aus der Weender-Analyse für die Vorhersage von Biogaserträgen. Mit seinem Rechenmodell zur fermentierbaren – in Abgrenzung zur verdaulichen – organischen Trockensubstanz fand eine Konzentration auf die Belange der Biogasproduktion und Abwendung von Methoden aus der Tierernährung statt. Ganz unabhängig von der grundsätzlichen Unterscheidung zwischen Rechenmodellen und belastbaren Messungen wird die Anwendung der FoTS-Formel durch die jeweilige Rezeptur, die der Betreiber einsetzt, begrenzt.

Wir wissen insgesamt noch viel zu wenig über die Wechselwirkungen, die sich aus

Tabelle 15: Pauschale Annahmen von Biogasbildungsraten nach Baserga

	l_N Biogas je kg	% Methangehalt
Kohlenhydrat	790	50
Fett	1.250	68
Protein	700	71

Tabelle 16: Biogasausbeute nach Weißbach im Vergleich zu Baserga

	Biogasausbeute nach Weißbach			Biogasausbeute nach Baserga		
% TR Maissilage	Ø l_N/kg TR	Min l_N/kg TR	Max l_N/kg TR	Ø l_N/kg TR	Min l_N/kg TR	Max l_N/kg TR
35	661	600	728	576	526	610

Tabelle 17: Ermittelter Methangehalt von Maissilage mit 35 % TR nach Weißbach im Vergleich zu Baserga

	CH_4 nach Weißbach	CH_4 nach Baserga
% TR Maissilage	Ø l_N/kg TR	Ø l_N/kg TR
35	336	291

Tabelle 18: Auswirkungen der Bewertungsmethoden auf die benötigten Rohstoffmengen und Rohstoffkosten

11.200.000 kWh benötigen demnach bei 45 €/t GM:			
Baserga	11.037 t	496.675 €	110,36 %
Weißbach	9.542 t	429.402 €	95,41 %
KTBL	10.000 t	450.000 €	100,00 %

den Rezepturen ergeben, um Rentabilitätsprognosen auf der Basis von Rechenmodellen eine hinreichende Verlässlichkeit zuschreiben zu können.

Weender Futtermittelanalytik

Einer der Grundfehler der Methode liegt in der Tatsache, dass Verdaulichkeit mit Vergärbarkeit gleichgesetzt wird. Ein weiterer Fehler liegt in der Bestimmung der Rohfaser durch Säuren, die auch Teile des Lignin mit auflösen, und der pauschalen Annahme eines Stickstoffgehaltes von 16 % für die Bestimmung des Rohprotein. Ein weiterer wichtiger Kritikpunkt ergibt sich in der Betrachtung des Lignins. Die drei primären Zimtalkohole, die Lignin darstellen, gehören zu den Phenolen, und die Abbauprodukte der Phenole hemmen den Biogasprozess vollständig, wenn eine Konzentration von 30 Milligramm pro Kilogramm Gärmasse (mg/kg GM), bestimmt als Phenolindex, überschritten wird.

Auch im Fermenter findet sich gelöstes Lignin aus halmgutartiger Biomasse, ob nun aber frisches Gras mehr und früher Lignin in Lösung gibt als Maissilage mit 35 % TR und welchen Umfang die damit verbundene Phenolhemmung verursacht, wird bisher von keiner gängigen Methode für Biogas bestimmt. Eine Aussage hierzu wäre jedoch mit Blick auf Rezeptur und Rentabilität hilfreich (H. J. Uphoff 2017).

Verdaulichkeitsquotienten nach Baserga

Da die Pauschalen Annahmen, siehe Tabelle 15, lediglich grobe Werte liefern, kritisiert Weißbach: *„Neben dieser und anderen Schwächen der Methode, die hier nicht alle diskutiert werden können, besteht ihr Hauptmangel darin, dass sie im Vergleich zu zahlreichen Messungen aus Fermentationsversuchen wesentlich zu niedrige Gasausbeuten ergibt“* [aus Landtechnik 6/2008].

Wendet man die verschiedenen Methoden (mit TR-Bezug und ohne Säurekorrektur) auf die gleiche Zielgröße von 11.200.000 kWh an, ergeben sich unterschiedliche Gärmassen und bei 45 Euro pro Tonne Gärmasse mit 35 % TR unterschiedliche Rohstoffkosten, siehe Tabelle 18.

Fazit der Kapitel 1 bis 4: Eine Biogas-Anlage funktioniert nicht wie ein Kuhmagen!

Allein die Fähigkeit, die Kuh Elsa füttern zu können, ist kein überzeugendes Argument für den Betrieb einer verfahrenstechnischen Produktionsanlage zur Herstellung explosionsgefährlicher Gemische. Rentabilitätsprognosen auf Basis ungeeigneter Methoden führen zu einer unwahren Abschätzung der Rohstoffkosten, Einzelwertberichtigungen in der Kreditwirtschaft und Vermögensverlusten bei den Betreibern/Investoren. Die Kompetenz zur Beurteilung vorgelegter Rentabilitätsprognosen für Biogasprojekte ist innerhalb der Kreditwirtschaft unterschiedlich. Gleichzeitig spielen vielfach deren Regionalprinzip und der Verkaufserfolg von Herstellern geeigneter oder weniger geeigneter Biogasanlagen in dieser Region ebenfalls eine Rolle.

So haben Banken sich in der Folge ihre ganz individuellen und institutseigenen Risikoportfolien geschaffen. Eine Überprüfung des Bestandes anhand objektiver Kriterien kann nicht nur Klarheit bringen, sie vermeidet nachweislich Ausfälle. Es sind Überarbeitungen und Neuentwicklungen der analytischen Bewertungsmethoden – zugeschnitten auf die Bedürfnisse der Biogasbranche – und auf der Basis modernster (bio-)chemischer Analytik erforderlich, die dann als Standardverfahren zugänglich sind und die Verlässlichkeit von Rentabilitätsprognosen deutlich verbessern.

In Kürze werden die Autoren weitere ausführliche und rein wissenschaftliche Arbeiten hierzu veröffentlichen. ◄

Hinweis: Die Literaturangaben können bei Bedarf bei den Autoren angefordert werden.

Autoren

Dipl. Des. (FH) Rainer Casaretto
BIOGAS-AKADEMIE®
E-Mail: info@biogas-akademie.de

Prof. Dr. Jens Born
Hochschule Flensburg
E-Mail: jens.born@hs-flensburg.de

B.Sc. Corin Dirk Nikoleiski
Hochschule Flensburg
E-Mail: corin.nikoleiski@hs-flensburg.de