

Hohenheimer Biogasertragstest

Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse

Dominik Helffrich und Hans Oechsner

Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim, Stuttgart

Zur Planung landwirtschaftlicher Biogasanlagen ist es unerlässlich, die erzielbaren Biogasausbeuten der einzusetzenden Substrate zu kennen. In der Regel werden zur Bestimmung des Biogasertragspotenzials diskontinuierlich arbeitende Versuchsfermenter, mit mehr als drei Litern Volumen eingesetzt.

Der Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) ist ein neues Verfahren zur Ermittlung des Methanertrags aus organischer Substanz, das mit handelsüblichen Laboreinrichtungen durchgeführt werden kann. Durch den kleinen Maßstab können auf engem Raum eine Vielzahl von Wiederholungen bzw. parallelen Untersuchungen bei reduziertem Personalaufwand durchgeführt werden.

In umfangreichen Untersuchungen konnte am Beispiel von Rindergülle, Grassilage und Speiseresten belegt werden, dass mit diesem Versuchsaufbau ebenso gute Ergebnisse erzielt werden können, wie mit den sonst eingesetzten Systemen.

Schlüsselwörter

Gärtest, Batch-Versuche, Biogasertrag, Hohenheimer Biogasertragstest

Einleitung

In landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit verschiedene organische Stoffe als Gärsubstrate eingesetzt. Gerade für die Planung dieser Anlagen ist eine genaue Kenntnis der erzielbaren Biogas- und Methanausbeuten aus den vorhandenen Substraten erforderlich. Hierfür werden in der Regel diskontinuierliche Gärversuche im Labor angesetzt, bei denen das maximale Biogasertragspotenzial ermittelt wird. Das Standardverfahren nach DIN 38 414 Teil 8 ist für dünnflüssige Substrate aus der Abwasserwirtschaft mit geringem Gasbildungspotenzial ausgelegt. Für die in der Landwirtschaft üblichen Gärsubstrate mit erheblich höherem organischem Anteil ist das Verfahren kaum geeignet. Daher werden von den Forschungseinrichtungen, die sich mit Biogasverfahren beschäftigen, unterschiedliche, meist in Eigenarbeit und mit viel Aufwand hergestellte Versuchsaufbauten zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials verwendet [1, 4].

Zielsetzung

Das Ziel der Entwicklung des Hohenheimer Biogasertragstests war es, den Versuchsaufbau zu vereinfachen und zu verkleinern, um mehr Wiederholungen bzw. Analysen gleichzeitig durchführen zu können und mögliche Fehlerquellen, wie Undichtigkeiten in den Gasleitungen zu vermeiden. Der Arbeitsaufwand zum Aufbau der Laboreinrichtungen, der Betreuungsaufwand während der Versuche und die zu transportierende Testsubstratmenge sollten vermindert werden. Es galt, das neue Verfahren so zu konzipieren, dass es mit handelsüblichen Laboreinrichtungen durchführbar ist. Durch eine Reduzierung des Impfgüllebedarfs sollte es einfacher werden, das Impfsubstrat selbst zu kultivieren. Insgesamt muss das Verfahren reproduzierbare und mit

bisherigen Methoden vergleichbare Ergebnisse liefern.

Material und Methode

Grundlage der Methodenentwicklung war der Hohenheimer Futterwerttest, der eine Abschätzung des energetischen Futterwertes aus der mit Pansensaft in vitro bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse vornimmt. Aufbauend auf dieser bewährten Vorgehensweise, dienen Glasspritzen (Kolbenprober) mit einem Volumen von 100 ml und einer 1/1 Graduierung sowie einem Kapillaransatz, wie in **Bild 1** gezeigt, als Fermenter. Auf den Kapillaransatz wird ein gasdichtes Schlauchstück aufgesetzt, das mit einer Schlauchklemme verschlossen werden kann. Um den Spalt zwischen Stopfen und Glaskolben abzudichten, wird ein gegenüber dem anaeroben Abbau inertes Gleitfett verwendet. [5].

Etwa 60 Kolbenprober werden in einen motorbetriebenen Rotor eingesteckt, der sie zur Durchmischung bewegt. Die gesamte Einheit wird in einen Brutschrank eingebaut, an dem die gewünschte Gärtemperatur gewählt wird.

Impfsubstrat

Zum Ansetzen eines Gärversuchs wird ein Impfsubstrat benötigt, welches die für den anaeroben Stoffabbau erforderlichen Bakterienkulturen enthält. Hierfür wird z. B. ausgefaulte Gülle aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage verwendet. Dieses Impfsubstrat muss temperiert und luftdicht gehalten werden. Zur Kultivierung eignen sich Durchfluss- oder Spei-

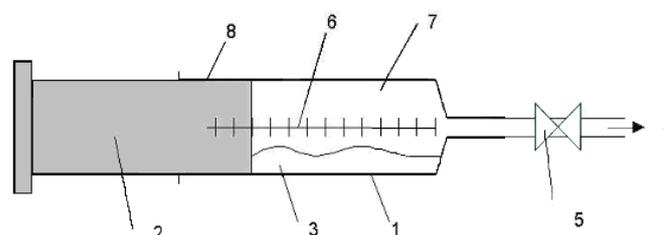


Bild 1: Kolbenprober mit
1 - Glasspritze
2 - Stopfen
3 - Gärsubstrat
4 - Öffnung zur Gasanalyse
5 - Schlauchklemme
6 - Graduierung 1/1
7 - Gasraum
8 - Gleit- und Dichtmittel

cherbiogasanlagen im Labormaßstab. Normalerweise genügt die Adaption der Impfgülle an die Testsubstrate während des Gärtests. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Impfgülle nicht zu sehr „ausgehungert“ und eine ausreichende Vitalität zeigt. Andererseits sollte sie nicht zu stark gefüttert werden, da sie sonst im späteren Versuchsansatz eine zu hohe Eigengasbildung besitzt, welche die Genauigkeit des Testergebnisses ungünstig beeinflusst. Die Impfgülle sollte bei der späteren Versuchstemperatur gehalten und ein- bis zweimal pro Woche mit hemmstofffreier Rindergülle gefüttert werden. Im Vergleich zum direkten Einsatz von Impfgülle aus der Landwirtschaft konnten die störenden Einflüsse durch Unregelmäßigkeiten und Gasbildungsvermögen bei der selbst kultivierten Impfgülle deutlich vermindert werden. Das zeigt sich in der genaueren Übereinstimmung der Parallelansätze.

Probenaufbereitung

Da die für einen Fermenter benötigte Menge Testsubstrat weniger als ein Gramm beträgt, kommt der Probennahme und -aufbereitung eine besondere Bedeutung zu. Je nach Trockensubstanzgehalt wird eine repräsentative Probe von etwa einem Kilogramm Frischmasse gezogen. Die Probe wird auf den Gehalt an Trockensubstanz-, organischer Substanz und Asche untersucht. Anschließend wird sie 48 Stunden lang in einem Trockenschrank schonend bei 50-60 °C, getrocknet. Dieses Verfahren hat sich in der Futtermittelanalytik bewährt, da es nur einen unwesentlichen Einfluss auf das Gasbildungsvermögen ausübt [5]. Nach der Trocknung sollten gut 100 g mit wenigstens 85 % Trockensubstanzgehalt vorhanden sein. Anschließend wird die Probe auf einen Millimeter Siebdurchgang zerkleinert. Hierfür hat sich eine Schneidmühle bewährt, die das Substrat zerkleinert ohne den Staubanteil wesentlich zu erhöhen. Die Aufbereitung der Probe ermöglicht eine repräsentative Einwaage von 500 mg Testsubstrat in den Fermenter. Diese Kombination aus Trocknung und Zerkleinerung entspricht auch der gängigen Aufbereitungsmethode für Futtermitteluntersuchungen. Um die Ergebnisse von Substraten mit stark schwankender Zusammensetzung wie z.B. Grassilage für die wissenschaftliche Verwendung dokumentieren und einordnen zu können, empfiehlt sich die erweiterte Futtermittelanalyse nach van Soest. Hierfür werden etwa 70 g des aufbereiteten Substrats benötigt [3, 5].

Ansatz der Versuche

Für den Versuchsansatz wird das Impfsubstrat grob abgeseibt und unter ständigem Rühren im Temperierbad mit CO₂ begast. In die vorbereiteten Kolben werden zuerst etwa 30 ml Impfsubstrat gegeben und die Einwaage auf 1/100 Gramm bestimmt. Mit Hilfe einer Analysenwaage werden dann 500 mg des Testsubstrates auf 1/1000 Gramm eingewogen. Beim Mischungsverhältnis zwischen Impf- und Testsubstrat ist zu beachten, dass die Impfgülle so hoch dosiert ist, dass sie durch die Einwaage an Testsubstrat nicht überlastet wird. Andererseits sollte der größte Teil des entstehenden Gases aus dem Testsubstrat stammen, da die Ergebnisse sonst zu sehr durch die Eigengasbildung des Impfmateri als beeinflusst werden. Je nach Energiegehalt des Testsubstrates hat sich ein Trockensubstanzverhältnis aus Impfgülle und Testsubstrat von 2 - 3 : 1 bewährt.

Die Restluft wird anschließend mit dem eingefetteten Stopfen aus dem Kolben verdrängt und dieser gasdicht verschlossen. Die so vorbereiteten Proben werden in die Rotoreinheit gelegt und in der Regel mesophil bei 35 °C gelagert, bis kaum noch Gas entsteht. Nach DIN 38414 Teil 8 werden die Versuche an dem Tag beendet, an welchem nur noch ein Prozent der bisher erfassten Gasmenge entsteht. Für jedes Testsubstrat werden mindestens drei Wiederholungen angesetzt und bei jedem Versuchsansatz mindestens drei Kolben mit reinem Impfsubstrat als Nullvariante betrieben. Um Versuche, die nicht zeitgleich angesetzt werden miteinander zu vergleichen, werden bei jedem Durchlauf Standards mit bekanntem Methanbildungspotenzial vergoren. Hierdurch erfolgt eine ständige Kontrolle des

Versuchsaufbaus und der Impfgülle [1].

Sobald eine, zur qualitativen Analyse ausreichende Menge Biogas in den Fermentern vorhanden ist, wird der Füllstand des Kolbens abgelesen und das Gas durch Einschieben des Stopfens der Analyse zugeführt. Anschließend wird der Kolbenprober wieder gasdicht verschlossen und der Füllstand erneut notiert.

Verfahrensvergleich

Um die Übertragbarkeit auf andere Gärverfahren und die Zuverlässigkeit des Hohenheimer Biogasertragstests zu überprüfen, wurden Vergleichsversuche im Biogaslabor der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen und des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim mit den dortigen Standardfermentern, die sowohl im semikontinuierlichen Durchflussbetrieb als auch im Batch-Betrieb gefahren werden können, durchgeführt. Neben den liegenden und stehenden Fermentern mit 16 bzw. 32 Litern Faulraum, wurden auch Eudiometer nach DIN 38 414 Teil 8 eingesetzt. Für diesen Vergleich dienten Flüssigmist, Grassilage und Speisereste als Testsubstrate. Da das Substrat nur nach Zerkleinerung repräsentativ aus der Sammelprobe in die kleinen Fermenter eingewogen werden kann, wurden die Substrate in den großen Fermentern in roher und aufbereiteter Form vergoren und miteinander verglichen. Es wurde jeweils eine Variante gewählt, bei der das aufbereitete Material nach Zugabe in die Fermenter, entsprechend dem Feuchtigkeitsverlust bei der Trocknung, mit Wasser ergänzt wurde. **Tabelle 1** zeigt eine Übersicht über die Versuchsansätze mit reiner Impfgülle, Rindergülle, Grassilage und Speiseresten.

Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Gärversuche zum Verfahrensvergleich

Substrat	Fermenterbauart Faulraumvolumen	stehend 32 l	liegend 16 l	Eudiometer 250 ml	HBT 30 ml
Impfgülle (IG)		X	X	X	X
IG & Frischgülle (roh)			X		
IG & aufbereitete Frischgülle mit Wasserzusatz			X	X	X
IG & aufbereitete Frischgülle					X
IG & Grassilage (roh)			X		
IG & aufbereitete Grassilage mit Wasserzusatz			X	X	X
IG & aufbereitete Grassilage					X
IG & Speisereste (roh)		X			
IG & aufbereitete Speisereste mit Wasserzusatz		X		X	X
IG & aufbereitete Speisereste					X

Ergebnisse

Mit dem neu entwickelten Biogasertrags-test werden seit über zwei Jahren verschiedenste Substrate vergoren. Von Anfang an wurden die Ergebnisse mit Literaturangaben verglichen. So ergab sich für reine Maisstärke und Rapsöl eine sehr gute Übereinstimmung sowohl hinsichtlich der entstehenden Gasmenge als auch des Methangehaltes. Vergleichende Vergärungen von Schlempe und Grassilage in fünf Liter großen Batch- bzw. 16 l Durchflussfermentern bei einer Verweilzeit von 33 Tagen, ergaben im eigenen Labor ebenfalls eine sehr genaue Übereinstimmung der Ergebnisse.

In allen im Verfahrensvergleich eingesetzten Fermentertypen zeigte sich zunächst eine starke und nach circa zehn Tagen langsam abnehmende Biogas- bzw. Methanproduktion. In **Bild 2** sind die aufsummierten Methanerträge dreier Vergärungsvarianten mit Speiseresten und der dazugehörigen Impfgülle dargestellt. Die Speisereste wurden aufbereitet und roh in stehenden, 32 l großen Fermentern sowie nach dem HBT-Verfahren vergoren. Die Belastung der Impfgülle mit organischer Substanz aus Testsubstrat war in beiden Fermentertypen gleich hoch. Die Endwerte der Speiserestevergärung in den stehenden Fermentern zeigen, dass die Aufbereitungsmethode weder eine Steigerung noch eine Verminderung des Methanertrags bewirkte. Die Ergebnisse der drei Wiederholungen mit aufbereiteten Speiseresten streuen weniger stark (Variationskoeffizient [CV]: 1,7 %) als die der rohen Speisereste (CV: 4,9 %). Der erfassbare Normmethanertrag lag sowohl für die Impfgülle als auch für die aufbereiteten Speisereste bei der Vergärung nach dem HBT etwas höher (0,503 Nm³/kg oTS) als in den Vergleichsfermentern (32 l: 0,456 und Eudiometer 0,480 Nm³/kg oTS). Zwischen den verschiedenen Fermentertypen ergibt sich ein CV von 7,1 %. Derartige Abweichungen zwischen den Wiederholungen sind bei biologischen Prozessen, die äußeren Einflüssen unterliegen, als normal zu betrachten.

Bild 3 zeigt die aus jeweils drei einzelnen Ansätzen gemittelten Ergebnisse der Vergleichsvergärung mit Grassilage. Die Grassilage wurde unbehandelt in liegenden 16 l Fermentern mit Haspelrührwerk sowie aufbereitet in Eudiometern und nach dem HBT vergoren. Da in den Eudiometern nicht das gleiche Impfgülle-Testsubstratverhältnis realisiert werden konnte, sondern aus funktionstechnischen Gründen eine wesentlich dünnere Mischung angesetzt werden musste, waren diese Substrate schon nach 30 Tagen völ-

lig ausgefault und die Versuche wurden beendet. Aus der untersuchten Grassilage wurde in den drei Fermentertypen eine mittlere Methanproduktion von 0,405 Nm³/kg oTS erzielt. Die verschiedenen Fermentertypen zeigten einen Variationskoeffizienten von 2,3 %.

Die entsprechenden Summenkurven der Vergärung von Rindergülle sind in **Bild 4** dargestellt. Als mittlere Methanproduktion der Rindergüllevergärung aller Verfahren wurden 0,168 Nm³/kg oTS ermittelt. Dabei waren die Ergebnisse aus den liegenden 16 l Fermentern deckungsgleich mit denen des HBT's. Die Versuche in den Eudiometern waren nach 30 Tagen beendet und es konnte nur eine geringere Methanbildung festgestellt werden. Der Variationskoeffizient der drei Verfahren lag aber ebenfalls in einem akzeptablen Bereich von 3,3 %.

Ein systematischer Fehler eines der verglichenen Vergärungsverfahren konnte nicht gefunden werden. Jedes einzelne Verfahren lieferte Ergebnisse, die zum Teil über und zum Teil unter dem Mittelwert der entsprechenden Methanerträge der anderen Verfahren lagen. Über alle gezeigten Versuche wurden die geringsten Abweichungen zwischen den Wiederholungen der Dreiergruppen bei den Kolbenproben (CV 2,3 %) erreicht. Die Ergebnisse der übrigen Vergärungsverfahren lagen mit einem Variationskoeffizienten von 3,3 % (32 l Fermenter), 5,7 % (16 l Fermenter) sowie 6,2 % (Eudiometer) ebenfalls im akzeptablen Bereich.

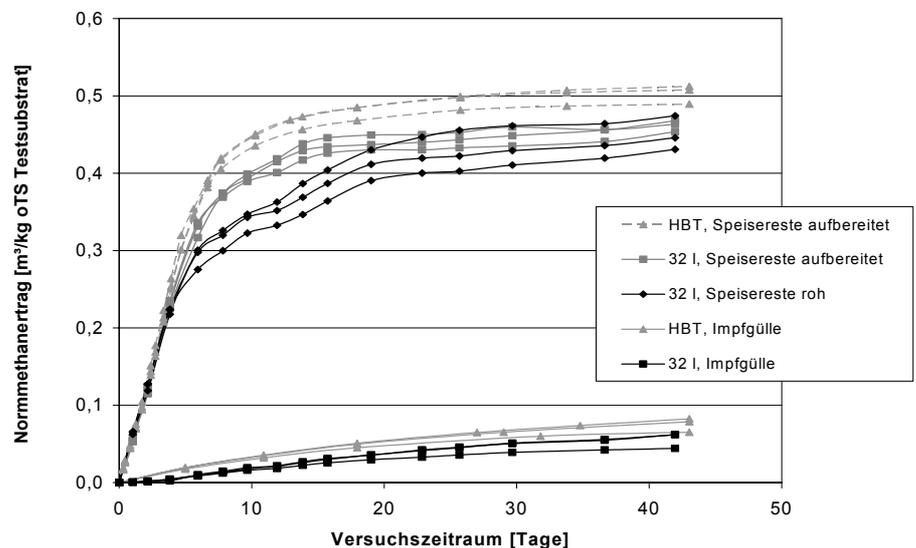


Bild 2: Summenkurven von jeweils drei Wiederholungen bei der Vergärung von aufbereiteten und rohen Speiseresten und den dazugehörigen Impfgüllen in verschiedenen Fermentertypen

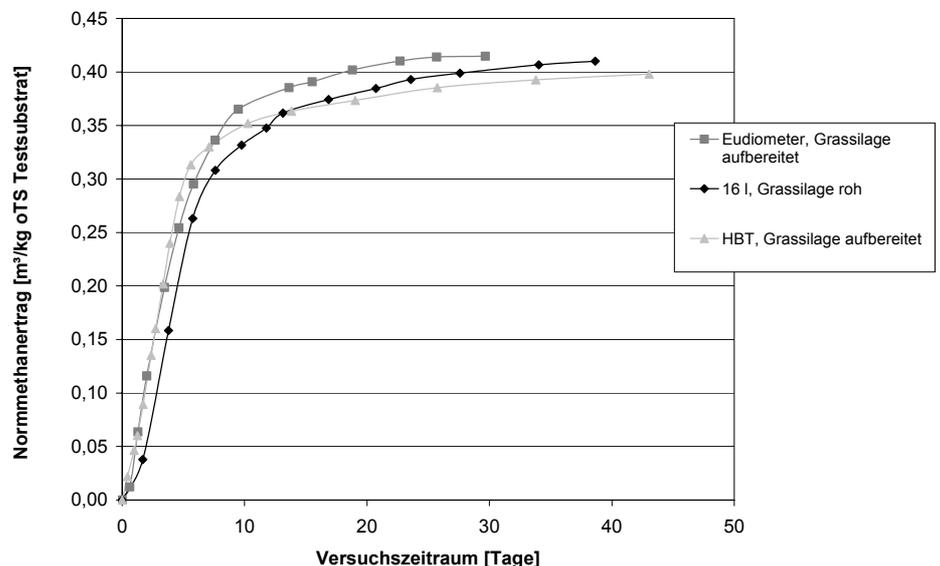


Bild 3: Gemittelte Summenkurven von jeweils drei Wiederholungen der Versuche mit Grassilage in verschiedenen Fermentersystemen

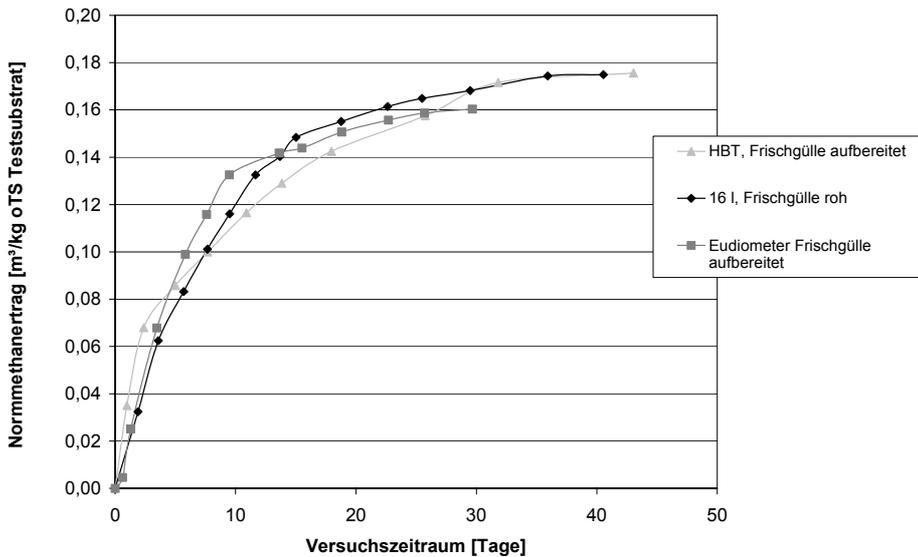


Bild 4: Gemittelte Summenkurven von jeweils drei Wiederholungen der Versuche mit Rindergülle in verschiedenen Fermentertypen

Folgerungen

Der Hohenheimer Biogasertest eignet sich dank der vorgeschalteten Aufbereitung der Testsubstrate sehr gut zur Bestimmung des substratspezifischen Methanertrages aus organischen Substanzen. Die Wiederholungen zeigen nur eine geringe Abweichung untereinander. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass durch die besondere Aufbereitung der Substratprobe, trotz der geringen Mengen, leichter eine repräsentative Einwaage erreicht wird, als bei herkömmlichen Verfahren, was eine erhebliche Verbesserung der Ergebnisse bedeutet. Der Vergleich der verschiedenen Vergärungsmethoden zeigte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bei Verwendung unterschiedlicher Gärsubstrate wie Rindergülle, Grassilage und Speiseresten. Die Untersuchung von Maissilage und anderen Gärsubstraten brachte ebenfalls plausible Resultate [2].

Der Hohenheimer Biogasertest stellt einen Fortschritt im Bereich der Gärversuche dar, da er auf Standardverfahren aufbauend die bisherigen Versuchsaufbauten vereinfacht. Durch die technische Vereinfachung wird die Schlagkraft des Labors, bei gleichzeitiger Reduktion von Fehlermöglichkeiten und Personalaufwand, erhöht.

Literatur

- [1] *DEV Deutsche einheitsverfahren zur Wasser- Abwasser- und Schlammuntersuchung*, Gruppe S-Schlamm und Sedimente: Bestimmung des Faulverhaltens, DIN 38 414 Teil 8, 1985
- [2] *Lemmer, A.; Neuberg, C.; Oechsner, H.:* Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen, Landtechnik Heft 2, 2003
- [3] *Naumann, C; Bassler, R. (1976):* Methodenbuch III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 1. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag Darmstadt, 1983
- [4] *Schertler, C.; Kübler, H.:* Gärtest zur Bestimmung des Biogasertestpotentials; Entsorgungspraxis 14 (9): 33-36, 1996
- [5] *Steingäß, H.; Menke, K. H.:* Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse; Übersicht der Tierernährung, 14: 251-270, 1986

Autoren

Dipl.-Ing. sc. agr. Dominik Helffrich
 Universität Hohenheim
 Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen
 Garbenstr. 9
 70599 Stuttgart
 Tel.: +49/(0)711/459-2685
 Fax: +49/(0)711/459-2519
 E-mail: helffrich@uni-hohenheim.de

Dr. sc. agr. Hans Oechsner
 Universität Hohenheim
 Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen
 Garbenstr. 9
 70599 Stuttgart
 Tel.: +49/(0)711/459-2684
 Fax: +49/(0)711/459-2519
 E-mail: oechsner@uni-hohenheim.de