

Friedrich Weißbach, Elmenhorst

# Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen

*Die Biogausbeute hängt vom Gasbildungspotenzial der eingesetzten Substrate und vom Ausschöpfungsgrad dieses Potenzials durch die Fermentationstechnik ab. Gegenstand der Bewertung der Substrate kann nur das von der Fermentationstechnik unabhängige Gasbildungspotenzial sein. Für die Bewertung dieses Gasbildungspotenzials von pflanzlichen Ernteprodukten und von daraus hergestellten Silagen wird ein neuer Parameter zur Diskussion gestellt, nämlich der „Gehalt an fermentierbarer organischer Trockensubstanz“ (FoTS). Dieser Parameter lässt sich aus den Ergebnissen relativ einfacher Laboranalysen berechnen. Dafür werden Schätzgleichungen vorgeschlagen, die aus den Ergebnissen einer großen Zahl von Verdauungsversuchen an Schafen abgeleitet worden sind.*

Prof. Dr. agr. habil. Friedrich Weißbach (e-mail: [prof.f.weissbach@web.de](mailto:prof.f.weissbach@web.de)) war bis 1999 Leiter des Instituts für Grünland- und Futterpflanzenforschung der damalige Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig (FAL) und ist jetzt als freischaffender Firmenberater tätig.

## Schlüsselwörter

Biogas, Biogausbeute, nachwachsende Rohstoffe, Fermentierbarkeit, organische Substanz

## Keywords

Biogas, biogas yield, renewable primary products, fermentation ability, organic matter

## Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08610 über Internet [www.landtechnik-net.de/literatur.htm](http://www.landtechnik-net.de/literatur.htm).

Bei der Kennzeichnung von Substraten zur Biogasgewinnung ist es seit langem üblich, den Einfluss unterschiedlicher Gehalte an Rohasche (XA) auf die Gasausbeute dadurch auszuschalten, dass man die XA von der Trockensubstanz abzieht und die substratspezifische Gasausbeute je kg organischer Trockensubstanz (oTS) angibt. Diese auf oTS bezogene Gasausbeute ist aber eine äußerst variable Größe. Hauptursache dieser Variation ist bei pflanzlichen Ernteprodukten in der Regel jedoch nicht so sehr der unterschiedliche Anteil an den drei organischen Nährstofffraktionen Protein, Fett und Kohlenhydrate, denen jeweils eine unterschiedlicher Gasbildungsrate zugesprochen wird [2, 10]. Entscheidender scheint vielmehr der sehr unterschiedliche Anteil von biologisch nutzbarer organischer Substanz zu sein. Zwischen der „Verdaulichkeit der oTS“ im Fermenter und dem Methanertrag je kg oTS wurde kürzlich von Kaiser [6] eine sehr enge Beziehung nachgewiesen.

Es könnte deshalb sinnvoll sein, zur Kennzeichnung der substratspezifischen Gasausbeute nicht nur die XA von der TS zu subtrahieren, sondern auch den Anteil an biologisch nicht nutzbarer oTS. Das Ergebnis wäre ein Parameter, den man den Gehalt an „fermentierbarer organischer Trockensubstanz“ (FoTS) nennen könnte. Ziel dieser Studie ist es, die Voraussetzungen und Möglichkeiten einer solchen Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen zu erkunden.

## Material und Methode

Die bisher vielfach genutzte Methode zur Berechnung der Gasausbeute [7] beruht auf der Untersuchung der Substrate nach der kompletten Weender Futtermittelanalyse und der Verwendung von Verdauungsquotienten, die aus der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer entnommen werden. Mit diesen Verdauungsquotienten werden die Gehalte an den einzelnen verdaulichen Nährstoffen berechnet und diese schließlich mit Werten für die spezifische Gasbildungsrate der Nährstoffe multipliziert, die auf Angaben in einer Arbeit von Baserga [2] zurückgehen. Die dabei als allgemeingültig voraus-

gesetzten Biogasbildungsraten betragen 790, 1250 und 700 Liter je kg Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen, die entsprechenden Methangehalte 50, 68 und 71 %. Die Allgemeingültigkeit dieser Werte ist jedoch zu bezweifeln [10]. 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.

Ursache dafür ist, dass hier fälschlich die am Tier gemessene scheinbare Verdaulichkeit mit der biologischen Abbaubarkeit der Nährstoffe gleichgesetzt wird. Der Kot der Tiere besteht aber nicht nur aus den unverdaulichen Stoffen des verzehrten Futters, sondern auch aus metabolischen Nährstoffausscheidungen endogenen Ursprungs [9]. Die tatsächlich biologisch nicht nutzbaren Anteile der Nährstoffe lassen sich errechnen, wenn man die metabolische Nährstoffausscheidung der Tiere kennt und diese von der insgesamt ausgeschiedenen Nährstoffmenge abzieht. Das ist jedoch nur dann möglich, wenn die Versuche zur Messung der Verdaulichkeit in einem so weitgehenden Maße standardisiert sind, dass annähernd konstante metabolische Nährstoffausscheidungen erwartet werden können [11]. Bei Angaben aus Futtermitteltabellen kann dieses hohe Maß an Standardisierung nicht generell vorausgesetzt werden.

Für die hier vorgenommene Auswertung standen die Ergebnisse einer großen Zahl von Verdauungsversuchen zur Verfügung, die diese Forderung erfüllen [13, 14]. Insgesamt wurde folgende Anzahl von Versuchen, die in der Regel mit je vier Schafen durchgeführt worden waren, ausgewertet: 44 mit Getreidekorn und Mühlennachprodukten, 63 mit Silomais und verschiedenen Maisernteprodukten, 72 mit Getreideganzpflanzen, 75 mit Luzerne, 52 mit Grünroggen, 41 mit Grünhafer sowie 135 mit Acker- und Wiesengras.

## Ergebnisse

Zunächst ist geprüft worden, wie groß der

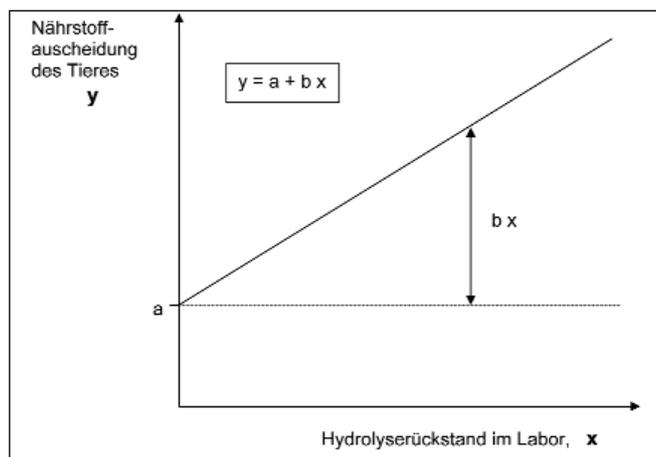
Einfluss der unterschiedlichen Nährstoffgehalte einerseits und der Einfluss der biologischen Abbaubarkeit der oTS andererseits auf die Gasausbeute ist. Dazu sind für ein weites Spektrum von Futterarten anhand von Beispielen für deren jeweils typische chemische Zusammensetzung und bei Unterstellung der Gültigkeit der Gasbildungsraten nach Baserga [2] aus den Gehalten an „wahr verdaulichen Nährstoffen“ die Gasausbeuten berechnet worden. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Die Futterarten sind nach der Rangfolge ihres Gehaltes an FoTS aufgelistet. Außerdem ist der Fermentationsquotient (FQ) als Maß für die biologische Abbaubarkeit der oTS (und als Analogon zum Verdauungsquotienten VQ) angegeben.

Wie sich zeigt, sind die berechneten Erwartungswerte für die Biogasausbeute, wenn man sie auf die FoTS bezieht, bei allen hier betrachteten Futterarten praktisch gleich. Ursache dafür ist, dass der bei weitem überwiegende Teil der fermentierbaren Stoffe in den hier betrachteten Substraten stets aus Kohlenhydraten besteht und Unterschiede im Gehalt an den anderen Nährstoffen nur wenig ausmachen. Im Mittel kann mit etwa 800 Litern Biogas und davon 420 Litern Methan je kg FoTS gerechnet werden. Der Schätzfehler, den man bei einer so getroffenen Vorhersage der substratspezifischen Gasausbeute zu erwarten hat, ist – gemessen an den verfahrenstypischen Messfehlern zum Beispiel von Batchversuchen – überraschend gering.

Es wurde dann untersucht, auf welche Weise sich der biologisch nicht nutzbare Anteil der oTS anhand von Laboranalysen schätzen lässt. Frühere Auswertungen hatten bereits gezeigt [11], dass die auf die ver-

**Bild 1: Modell zur Schätzung der Nährstoffausscheidung, die in standardisierten Verdauungsversuchen an Schafen gemessen wurden, anhand des Hydrolyserückstandes von Labormethoden**

**Fig. 1: Model to estimate the nutrient excretion, measured with standardized digestion trials in sheep, by means of hydrolysis residues in laboratory methods**



zehrte Futtertrockensubstanz bezogenen tierischen Ausscheidungen – gewissermaßen der „Gehalt an unverdaulichen Nährstoffen“ – bei Rohprotein (XP) und Rohfett (XL) innerhalb der jeweiligen Futterart nur geringen Schwankungen unterliegt. Dadurch ist es möglich, bei diesen beiden Nährstoffen mit Mittelwerten für die tierische Ausscheidung bei der jeweiligen Futterart zu rechnen.

Die Ausscheidung der Tiere an Kohlenhydraten (Summe aus Rohfaser und N-freien Extraktstoffen) ist dagegen außerordentlich variabel und muss anhand eines geeigneten Laborparameters geschätzt werden. Dabei wurde von dem auf Bild 1 dargestellten Modell ausgegangen. Der von bestimmten Labormethoden gelieferte organische Hydrolyserückstand (x) – etwa der Gehalt an Rohfaser (XF) in der TS – ist der tierischen Ausscheidung an Kohlenhydraten (y) analog, wenn diese auf die verzehrte Menge an Futtertrockensubstanz bezogen wird. Der Zusammenhang zwischen beiden Größen lässt sich durch eine einfache Regressions-

funktion beschreiben. Das Intercept dieser Funktion „a“ repräsentiert die metabolische Ausscheidung, der Regressionskoeffizient „b“ den Anstieg der Ausscheidung – etwa mit wachsendem Rohfasergehalt – und das Produkt „b•x“ die biologisch tatsächlich nicht nutzbare Menge an Kohlenhydraten. Die Funktionen sind in der Regel nicht linear, sondern verlangen die Anpassung einer Polynomialgleichung zweiten Grades, und zwar steigen die Regressionskurven für die nicht nutzbare Substanz – zum Beispiel mit wachsendem XF-Gehalt – progressiv an.

Für die Bedingungen der hier ausgewerteten Verdauungsversuche wurde eine metabolische Ausscheidung je kg Futtertrockensubstanz von durchschnittlich 35 g Kohlenhydraten, 20 g Rohprotein und 5 g Rohfett – zusammen somit 60 g oTS – ermittelt und in Rechnung gestellt.

Die Ableitung der Gleichungen zur Schätzung der FoTS soll am Beispiel von Silomais erläutert werden. Alle Laborparameter, wie auch die Zielgröße FoTS, sollen dabei die Dimension g je kg TS haben. Im Mittel belief sich bei dieser Futterart die Ausscheidung an XP auf 36 g und die an XL auf 5 g je kg TS. Die Ausscheidung an Kohlenhydraten ließ sich durch die Regression

$$y = 35 + 0,47 (XF) + 0,00104 (XF)^2$$

$$s_R = 24 \text{ g/kg}$$

beschreiben. Der Modellansatz zur Schätzung von FoTS lautet:

$$\text{FoTS} = 1000 - (XA) - 36 - 5 - [35 + 0,47 (XF) + 0,00104 (XF)^2] + 60,$$

woraus folgt:

$$\text{FoTS} = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2$$

In Tabelle 2 sind solche Gleichungen für alle untersuchten Futterarten aufgeführt. Als Labormethode zur Schätzung der nicht nutzbaren Kohlenhydrate oder der nicht nutzbaren oTS erwies sich bei den meisten Futterarten der Rohfasergehalt als gut geeignet. Andere Faserfraktionen (wie etwa NDF, ADF oder ADL) brachten meist keine höhere Genauigkeit. Die einzige Futterart, bei der weder mit XF noch mit anderen Faserfraktionen eine

**Tab. 1: Berechnung der potenziellen Biogausbeute aus dem Gehalt an fermentierbarer organischer Substanz (FoTS)**

**Table 1: Calculation of potential biogas yield, based on the content of fermentable organic dry matter (FoDM)**

Substrate	Gehalt in g je kg TS		FQ (FoTS/oTS)	Biogas		Methan	
	oTS	FoTS		l <sub>n</sub> je kg oTS	l <sub>n</sub> je kg FoTS	l <sub>n</sub> je kg oTS	l <sub>n</sub> je kg FoTS
<b>Konzentrate:</b>							
Maiskorn	980	950	0,97	756	<b>780</b>	402	<b>415</b>
Weizenkorn	981	933	0,95	749	<b>788</b>	399	<b>419</b>
Zuckerrüben, frisch	953	908	0,95	750	<b>787</b>	384	<b>403</b>
<b>Ganzpflanzen:</b>							
Maisganzpflanzen, gut	950	763	0,80	638	<b>794</b>	335	<b>417</b>
Maisganzpflanzen, mäßig	950	744	0,78	622	<b>794</b>	327	<b>418</b>
Weizenganzpflanzen, gut	940	671	0,71	567	<b>794</b>	299	<b>419</b>
Weizenganzpflanzen, mäßig	923	632	0,68	543	<b>793</b>	288	<b>421</b>
<b>Grünschnittpflanzen:</b>							
Grünroggen	894	766	0,86	670	<b>782</b>	364	<b>424</b>
Intensivgras	889	762	0,86	672	<b>783</b>	368	<b>429</b>
Luzerne	882	642	0,73	567	<b>779</b>	319	<b>438</b>
Extensivgras	913	507	0,56	437	<b>787</b>	240	<b>432</b>
<b>Getreidestroh:</b>							
Gerstenstroh	941	530	0,56	448	<b>796</b>	231	<b>409</b>
Weizenstroh	922	493	0,53	425	<b>795</b>	220	<b>412</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>932</b>	<b>715</b>	<b>0,77</b>	<b>603</b>	<b>789</b>	<b>321</b>	<b>420</b>
Standardabweichung	32	155	0,15	118	6	63	9
Variationskoeffizient [%]				20	1	20	2

Substrate	Schätzgleichungen für FoTS [g je kg TS]
<b>Getreide und Getreidekornsilagen:</b>	
Weizen, Roggen	FoTS = 990 - (XA) - 1,89 (XF)
Gerste, Hafer	FoTS = 991 - (XA) - 1,38 (XF)
Getreide insgesamt	FoTS = 991 - (XA) - 1,53 (XF)
<b>Maisganzpflanzen, Lieschkolben und Maiskorn sowie daraus hergestellt Silagen:</b>	
	FoTS = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF) <sup>2</sup>
<b>Getreideganzpflanzensilagen:</b>	
Weizen, Triticale	FoTS = 982 - (XA) - 0,53 (XF) - 0,00102 (XF) <sup>2</sup>
Roggen	FoTS = 983 - (XA) - 0,82 (XF) - 0,00222 (XF) <sup>2</sup>
Gerste	FoTS = 981 - (XA) - 0,81 (XF) - 0,00006 (XF) <sup>2</sup>
<b>Andere Grünfütterarten sowie daraus hergestellte Silagen:</b>	
Grünroggen	FoTS = 975 - (XA) + 0,23 (XF) - 0,00230 (XF) <sup>2</sup>
Grünhafer	FoTS = 976 - (XA) + 0,30 (XF) - 0,00297 (XF) <sup>2</sup>
Luzerne	FoTS = 971 - (XA) - 0,41 (XF) - 0,00101 (XF) <sup>2</sup>
Gras, intensive Nutzung (1. und 2. Aufwuchs)	FoTS = 969 - (XA) + 0,26 (XF) - 0,00300 (XF) <sup>2</sup>
Gras, alle Intensitätsstufen und Aufwüchse	FoTS = 1000 - (XA) - 0,62 (EulOS) - 0,000221 (EulOS) <sup>2</sup>

hinreichende Genauigkeit erreicht wurde, sind die verschiedenartigen Grasaufwüchse. Deshalb sollte bei allen Gräsern und Grassilagen die Schätzung von FoTS über den „Gehalt an enzymunlöslicher organischer Substanz“ (EulOS) bevorzugt werden. EulOS ist der organische Rückstand, der nach Hydrolyse mit Pepsin und Cellulase zurück bleibt [13, 14]. Er wird in g je kg TS angegeben und kann als Analogon zu XF verstanden werden, nur dass hier die Hydrolyse nicht durch Kochen in Säure und Lauge, sondern durch Behandlung mit Verdauungsenzymen bei 40 °C erfolgt.

Alle diese Gleichungen gelten sowohl für das jeweilige frische Erntegut als auch für Silagen oder schonend getrocknetes Material. Voraussetzung für die Anwendung der Gleichungen auf Silagen ist allerdings, dass ihr TS-Gehalt auf flüchtige Gärprodukte korrigierte wurde [12, 15, 16].

Die mit diesen Gleichungen und der Unterstellung von 800 Litern Biogas und 420 Litern Methan je kg FoTS errechneten Erwartungswerte für die Gasausbeute stimmen nicht immer mit publizierten Resultaten von Fermentationsversuchen [1] überein. Das kann sehr unterschiedliche Ursachen haben. Eine relativ gute Übereinstimmung wurde mit Versuchsergebnissen nach dem Hohenheimer Biogastest [8] gefunden, wenn diese auf Normbedingungen berechnet waren [1]. Tabelle 3 zeigt das am Beispiel verschiedener Silomaisproben, von denen die gemessenen Methanausbeuten wie auch die Nährstoffgehalte zugänglich waren. Sowohl hinsichtlich der Größenordnung der substratspezifischen Gasausbeute als auch der wesentlichsten Qualitätsunterschiede zwischen den Proben wurde eine passable Annäherung der nach beiden Methoden erhaltenen Werte erreicht.

## Schlussfolgerungen

Der Gehalt an FoTS eignet sich zur Kennzeichnung des Gasbildungspotenzials der nachwachsenden Rohstoffe. Diese Kennzahl

Tab. 2: Gleichungen zur Schätzung des Gehaltes an fermentierbarer organischer Trockensubstanz (FoTS) in Substraten zur Biogasgewinnung

Table 2: Equations to estimate the content of fermentable organic dry matter (FoDM) in source materials for biogas production

und Methanausbeuten muss für die Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen nicht notwendiger Weise erfolgen. Der Gehalt an FoTS allein hat bereits einen hohen Aussagewert. Soweit es nötig ist, sollte vielmehr künftig mit substratspezifischen Gasausbeuten je kg FoTS gerechnet werden. Erkennbarer Bedarf für das Rechnen mit vom Durchschnitt abweichenden Gasbildungsraten je kg FoTS dürfte beispielsweise bei Ölfrüchten (wegen ihres im Vergleich zu anderen Substraten höheren Fettgehaltes) oder bei silierten Zuckerrüben (wegen ihres hohen Alkoholgehaltes) bestehen.

Die Allgemeingültigkeit der hier unterstellten Gasbildungsraten je kg Nährstoff ist, auch wenn man von den beiden genannten Sonderfällen absieht, überdies umstritten [10]. Auch ist bei Fermentationsversuchen nicht immer mit einem konstanten Anteil von in die bakterielle Biomasse inkorporierter FoTS zu rechnen. Wenn man die Variationsursache „Fermentierbarkeit der oTS“ ausschaltet, was durch die Benutzung von FoTS als Bezugsgröße für die substratspezifische Gasausbeute erreicht wird, dürften sich aber auch neue Möglichkeiten zur Herleitung oder biochemischen Begründung von Gasbildungsraten mit Hilfe stöchiometrischer Berechnungen [3, 4, 5] eröffnen.

## Danksagung

Der Autor dankt der NAWARO® BioEnergie AG für die finanzielle Förderung des Projektes, dessen Ergebnisse hier dargestellt sind.

hat den Vorteil, dass sie frei ist von den Einflüssen unterschiedlicher Durchführungsweise der Fermentationsversuche in den verschiedenen Laboratorien. Außerdem ist sie wesentlich schneller und kostengünstiger zu ermitteln. Der Gehalt an XA wird in jedem Fall auch jetzt schon gemessen. Allein durch die Bestimmung eines einzigen zusätzlichen Laborparameters (XF oder EulOS) und die dadurch mögliche Berechnung von FoTS entsteht ein erheblicher zusätzlicher Informationsgewinn.

Die FoTS ist als diejenige Menge an oTS zu definieren, die unter anaeroben Bedingungen potenziell durch Mikroorganismen abgebaut werden kann und die sich deshalb unter optimalen Prozessbedingungen und bei ausreichend langer Prozessdauer in Biogasanlagen biologisch nutzen lässt. Sie ist identisch mit dem Gehalt an wahr verdaulicher organischer Substanz, wie dieser anhand von besonders strikt standardisierten Verdauungsversuchen an Schafen [11, 13, 14] berechnet werden kann. Sie sollte weiterhin jedoch vorzugsweise durch geeignete Labor-Fermentationstechniken gemessen werden.

Eine Umrechnung der FoTS-Gehalte mit einer konstanten Gasbildungsrate in Biogas-

Tab. 3: Vergleich der mittels FoTS berechneten Biogasausbeute aus Silomais mit Werten, die mit dem Hohenheimer Biogastest gemessen wurden.

Table 3: Comparison of biogas yields from silage maize by using the FoDM approach versus measured data using the Hohenheimer biogas test.

Sorte	Reifezahl	TS %	Gehalt, g/kg TS				Methanertrag, l <sub>N</sub> /kg oTS		Ertrag relativ**
			XA	XF	oTS	FoTS	gemessen	berechnet*	
Banguy	240	38	29	142	971	867	370	375	99
GIXXAC	270	34	34	176	966	835	380	363	105
Chamboro	290	36	36	172	964	836	370	364	102
Laurest	300	42	32	168	968	844	380	366	104
Moissac	420	30	33	188	967	826	380	359	106
DK 604	580	23	41	208	959	800	350	350	100
Doge	700	35	38	183	962	825	380	360	105
Doge, frühe Ernte	700	20	48	315	952	685	310	302	103
unbekannt		39	33	137	967	867	370	377	98
Mittel							366	357	102

\* 420 l<sub>N</sub>/kg FoTS \*\* berechnet = 100

## Literatur

## Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • Amon, T., V. Kryvoruchko, B. Amon, G. Reinhold, H. Oechsner, M. Schwab, P. Weiland und B. Linke: Biogaserträge von Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern – Laborversuchsergebnisse. In: Der Landwirt als Energieerzeuger. KTBL-Schrift 420, 2004, S. 46-61
- [2] Baserga, U.: Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras. FAT-Berichte Nr. 512, 1998, S. 1-11
- [3] • Boyle, W.C.: Energy recovery from sanitary landfills – a review. In: Schlegel, H. G. und S. Barnea (Hrsg.): Microbial Energy Conversion. Pergamon Press, Oxford, 1976
- [4] Buswell, A. M., und H. F. Mueller: Mechanism of methane fermentation. Ind. Eng. Chem. 44 (1952), pp. 550-552
- [5] Czepuck, K., H. Oechsner, B. Schumacher und A. Lemmer: Biogasausbeuten im Labor im Vergleich zur rechnerischen Abschätzung. Landtechnik 61 (2006), H. 2, S. 82-83
- [6] • Kaiser, F. L.: Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation, TU München, 2007
- [7] Keymer, U., und A. Schilcher: Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising, 1999 (zitiert nach [6])
- [8] Oechsner, H., A. Lemmer und C. Neuberg: Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. Landtechnik 58 (2003), H. 3, S. 146- 147
- [9] • Van Soest, P.J.: Nutritional ecology of the ruminant. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca and London, 1987
- [10] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. In: Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven. VDI-Berichte Nr. 1620, 2001, S. 19-32
- [11] Weißbach, F., S. Kuhla und R. Prym: Modell und Methode zur Schätzung des energetischen Futterwertes auf der Basis der erweiterten Futtermittelanalyse. VDLUFA-Schriftenreihe 32, 1990, S. 499-504
- [12] Weißbach, F., und S. Kuhla: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährung 23 (1995), S. 189-214
- [13] Weißbach, F., S. Kuhla und L. Schmidt: Schätzung der umsetzbaren Energie von Grundfutter mittels einer Cellulase-Methode. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5 (1996), S.115
- [14] Weißbach, F., S. Kuhla, L. Schmidt und A. Henkels: Schätzung der Verdaulichkeit und der umsetzbaren Energie von Gras und Grasprodukten. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8 (1999), S. 72
- [15] Weißbach, F., und C. Strubelt: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63 (2008), H. 2, S. 82-83
- [16] Weißbach, F., und C. Strubelt: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Grassilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63 (2008), H. 4, S. 210-211