

Neue Methode zur Bewertung von Substraten für die Biogasgewinnung

# Wie viel Biogas liefern Nachwachsende Rohstoffe?

Wer Biogas effizient erzeugen will, muss wissen, wie viel Gasbildungspotenzial wirklich im Substrat steckt. Richtwerte zu den einzelnen Fruchtarten reichen dafür nicht aus, und die bisher verfügbaren Untersuchungsmethoden sind verbesserungsbedürftig. Jetzt gibt es einen neuen Lösungsvorschlag. Er ermöglicht es, das Gasbildungspotenzial jeder einzelnen Substratpartie mit geringem Aufwand genauer als bisher zu bestimmen.

*Prof. Dr. Friedrich Weißbach, Elmenhorst*

**E**rnteprodukte des Pflanzenbaus werden in zunehmendem Umfang als nachwachsende Rohstoffe zur Energiegewinnung genutzt. Von besonderer Bedeutung ist ihr Einsatz als Substrat für die Erzeugung von Biogas. Daraus ergibt sich die Aufgabe, diese Ernteprodukte und die daraus hergestellten Silagen im Hinblick auf die von ihnen zu

erwartende Gasausbeute zu bewerten. Die Kenntnis der potenziellen Gasausbeute je Masseinheit Trockensubstanz ist notwendig, um die Eignung der in Betracht kommenden Fruchtarten und Sorten nicht nur nach dem Biomasseertrag, sondern auch nach der damit möglichen Gasproduktion beurteilen zu können.

Angaben zur potenziellen Gasausbeute sind auch notwendig, um den Bedarf an Substraten für eine geplante oder bestehende

Biogasanlage zutreffend quantifizieren zu können. Schließlich ergibt sich zudem immer mehr das Erfordernis, im Falle einer Arbeitsteilung zwischen Biomasseerzeugern und Anlagenbetreibern, die Substrate qualitätsabhängig finanziell zu bewerten, wie das bei der industriellen Verarbeitung anderer landwirtschaftlicher Erzeugnisse längst üblich ist. Das wichtigste Qualitätskriterium von Substraten für die Biogasgewinnung ist dabei das Gasbildungspotenzial. ▶

### ■ Von der Futterbewertung lernen

Bei den pflanzlichen Ernteprodukten, die als Substrate zur Biogasgewinnung genutzt werden, handelt es sich bisher praktisch ausnahmslos um Futterpflanzen. Man kann deshalb die Biogasgewinnung aus NaWaRo in vielerlei Hinsicht als eine andere Verwertungsform von Futtermitteln auffassen. Zwar bestehen, was den technologischen Prozess angeht, natürlich große Unterschiede zwischen Tierproduktion und Biogasgewinnung. Aber als Prozesse der Stoffwandlung gibt es auch viele Gemeinsamkeiten. In beiden Fällen geht es um die biologische Nutzung von Nährstoffen, und was von diesen im Verdauungssystem der Wiederkäuer und im Fermenter einer Biogasanlage verwertbar ist, stimmt überraschender Weise weitgehend überein. Es ist deshalb möglich und sinnvoll, den umfangreichen Kenntnis- und Erfahrungsstand der Futtermittelkunde und der Fütterung auch für die Biogasgewinnung zu nutzen.

Eine der grundlegenden Erfahrungen der Fütterung von Tieren besteht darin, dass es sehr zweckmäßig ist, zwischen Futterbewertung und Verwertung des Futters zu trennen. Das Ziel der Futterbewertung ist es, das *Leistungspotenzial* des Futtermittels zu beschreiben. Dazu dienen genau standardisierte Verdauungsversuche an Schafen. Wie viel von dem so gemessenen Leistungspotenzial beim Futtereinsatz in tierische Leistung umgesetzt wird, hängt von vielen Faktoren ab (von der zweckmäßigen Rationsgestaltung, von der Leistungsfähigkeit des Tieres usw.), die nichts mit dem Leistungspotenzial des Futtermittels zu tun haben müssen.

Dieses Prinzip kann auf die Biogasgewinnung übertragen werden. So ist es zweckmäßig, zwischen dem stofflichen *Gasbildungspotenzial* der jeweiligen pflanzlichen Biomasse und der unter den gegebenen Bedingungen damit erreichten *Gasausbeute* zu unterscheiden. Beide müssen durchaus nicht identisch sein.



Die Gasausbeute ist vielmehr das mathematische Produkt aus

- dem stofflichen Gasbildungspotenzial des Substrats und
- dem Ausnutzungsgrad dieses Potenzials durch die Gestaltung des Fermentationsprozesses.

Die Unterscheidung von Gasbildungspotenzial und Gasausbeute hat den Vorteil, dass der Einfluss der Substratqualität und die Effizienz des Fermentationsprozesses getrennt voneinander bewertet werden können. Gegenstand der Substratbewertung kann nur das von der Effizienz des Fermentationsprozesses unabhängige Gasbildungspotenzial sein.

### ■ Die neue Kennzahl FoTS

Eine weitere Möglichkeit, Nutzen aus den Kenntnissen der Futtermittelkunde für die Substratbewertung zu ziehen, besteht darin,

die dort vorliegenden umfangreichen Daten zur Verdaulichkeit der Nährstoffe zu verwenden. Das geschieht seit einigen Jahren bereits. Die bisher vielfach genutzte Methode zur Berechnung von Erwartungswerten für die Gasbildung beruht auf der Untersuchung der Substrate nach der kompletten Weender Futtermittelanalyse und der Verwendung von Verdauungsquotienten aus der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer. Mit diesen Verdauungsquotienten werden die Gehalte an den einzelnen verdaulichen Nährstoffen berechnet und diese schließlich mit Gasbildungswerten aus der Literatur (Angaben nach Baserga) multipliziert. Diese Methode ergibt aber wesentlich niedrigere Gaserträge, als sie in zahlreichen Fermentationsversuchen im Labor und inzwischen auch in der Praxis gemessen werden.

Ursache dafür ist, dass hier fälschlich die an Schafen gemessene *scheinbare Verdau-*



**Mehrere gleiche Anlagen** nebeneinander im Bioenergiepark der NAWARO BioEnergie AG in Penkun boten gute Voraussetzungen für die Untersuchungen zur Biogasausbeute aus nachwachsenden Rohstoffen. *Foto: NAWARO BioEnergie AG*

kann man die wahr verdaulichen Nährstoffe berechnen. Erwartungsgemäß fällt dann die Gasbildung je kg organischer Trockensubstanz (oTS) wesentlich höher aus, im Durchschnitt von Maissilage beispielsweise um etwa 12 %. Wenn man Aussagen über die biologische Abbaubarkeit unter anaeroben Bedingungen treffen will, ist es deshalb besser, von der *wahren Verdaulichkeit* auszugehen.

Es ist untersucht worden, wie groß der Einfluss der so ermittelten biologischen Abbaubarkeit einerseits und der Einfluss der unterschiedlichen Nährstoffgehalte andererseits auf die potenzielle Gasausbeute ist. Dazu sind für ein weites Spektrum von Futterarten anhand von Beispielen die Gehalte an den unter anaeroben Bedingungen biologisch nutzbaren, d. h. fermentierbaren Nährstoffen sowie die demgemäß zu erwartende potenzielle Gasausbeute berechnet worden. Dann sind außerdem die einzelnen Gehalte an fermentierbaren Nährstoffen zur „fermentierbaren organischen Trockensubstanz“ (FoTS) zusammengefasst worden. Das Ergebnis enthält Tabelle 1. Sie zeigt, dass die berechneten Erwartungswerte für die potenzielle Biogasausbeute, wenn man

lichkeit mit der biologischen Abbaubarkeit gleichgesetzt wird. Die Differenz zwischen der vom Tier aufgenommenen und mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffmenge gilt bekanntlich als verdaut. Der Kot der Tiere besteht aber nicht nur aus den unverdaulichen Nährstoffen des aufgenommenen Futters, sondern auch aus so genannten metabolischen Ausscheidungen. Wenn man diese metabolischen Nährstoffausscheidungen kennt,

**Tabelle 1:** Berechnung der potenziellen Biogasausbeute aus dem Gehalt an fermentierbaren Nährstoffen.

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

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

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>Zuckerrüben und Zuckerrübensilagen:</b>	
	$FoTS = 991 - (XA) - 0,70 (XF)$
<b>Maisganzpflanzen, Lieschkolben und Maiskorn sowie daraus hergestellt Silagen:</b>	
	$FoTS = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2$
<b>Getreideganzpflanzensilagen:</b>	
Weizen, Triticale	$FoTS = 982 - (XA) - 0,53 (XF) - 0,00102 (XF)^2$
Roggen	$FoTS = 983 - (XA) - 0,82 (XF) - 0,00022 (XF)^2$
Gerste	$FoTS = 981 - (XA) - 0,81 (XF) - 0,00006 (XF)^2$
<b>Andere Grünfütterarten sowie daraus hergestellte Silagen:</b>	
Grünroggen	$FoTS = 975 - (XA) + 0,23 (XF) - 0,00230 (XF)^2$
Grünhafer	$FoTS = 976 - (XA) + 0,30 (XF) - 0,00297 (XF)^2$
Luzerne	$FoTS = 971 - (XA) - 0,41 (XF) - 0,00101 (XF)^2$
Gras, intensive Nutzung (1. und 2. Aufwuchs)	$FoTS = 969 - (XA) + 0,26 (XF) - 0,00300 (XF)^2$
Gras, alle Intensitätsstufen und Aufwüchse	$FoTS = 1000 - (XA) - 0,62 (EulOS) - 0,000221 (EulOS)^2$

sie auf die FoTS bezieht, bei allen Futterarten praktisch gleich sind. 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. Die Bestimmung der einzelnen Nährstofffraktionen (Rohprotein, Rohfett, Stärke usw.) ist somit nicht notwendig, um das Gasbildungspotenzial der pflanzlichen Biomasse abzuschätzen. 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 maximal möglichen Gasausbeute zu erwarten hat, ist – gemessen an den verfahrenstypischen Messfehlern z. B. von Batchversuchen – sehr gering.

Deshalb wird vorgeschlagen, künftig den Gehalt an FoTS als Parameter zur Beurteilung des Gasbildungspotenzials der Substrate zu verwenden. Dadurch vereinfacht sich die Laboruntersuchung erheblich. Von der Tro-

ckensubstanz wird bisher schon die Rohasche (XA) abgezogen, um zur oTS zu gelangen. Zusätzlich ist nur noch der Betrag an nicht nutzbarer organischer Substanz zu subtrahieren, um die FoTS zu berechnen.

#### ■ Ermittlung des Gehaltes an FoTS

Es ist weiter untersucht worden, auf welche Weise sich der biologisch nicht nutzbare Anteil der oTS anhand einer Laboranalyse schätzen lässt. Dazu sind die Ergebnisse großer Serien von Verdauungsversuchen an Schafen ausgewertet worden. Dabei zeigte sich, dass die Gehalte an biologisch nicht nutzbarem Rohprotein und Rohfett bei der jeweiligen Futterart praktisch konstante Größen sind und dass der Gehalt an biologisch nicht nutzbaren Kohlenhydraten in enger Beziehung zum Gehalt an Rohfaser (XF) oder an anderen Zellwandfraktionen steht. Bei den meisten Substraten kann der Gehalt an nicht nutzbaren Kohlenhydraten über eine Regressionsgleichung anhand von XF geschätzt werden. Andere Faserfraktionen (wie etwa  $ADF_{org}$ ) brachten in der Regel keine höhere Genauigkeit. Die einzigen Ernteprodukte, bei denen weder mit XF noch mit anderen Faserfraktionen eine stets ausreichende Genauigkeit erzielt wurde, sind die verschiedenen Grasaufwüchse. Deshalb sollte bei den Gräsern oder Grassilagen die Schätzung mittels des Gehaltes von „enzymunlöslicher organischer Substanz“ (EulOS) bevorzugt werden.

In Tabelle 2 sind die auf diese Weise abgeleiteten Schätzgleichungen für den FoTS-Gehalt in den einzelnen Halm- und Körnerfrüchte dargestellt. In diesen Gleichungen haben die

einzusetzenden Analysenergebnisse (XA, XF bzw. EulOS) wie auch die Zielgröße FoTS stets die Dimension *g je kg TS*.

Alle diese Gleichungen gelten sowohl für die einzelnen Ernteprodukte als auch für die daraus hergestellten Silagen. Die Anwendung der Gleichungen auf Silagen setzt jedoch voraus, dass der TS-Gehalt auf flüchtige Stoffe korrigiert worden ist. Die Silagen enthalten stets verschiedene Gärprodukte (Säuren und Alkohole), die bei der Trocknung von Proben zum Zweck der Bestimmung des TS-Gehaltes verdampfen. Diese flüchtigen Stoffe haben ein hohes Methanbildungspotenzial und müssen zum Rückstand der Probentrocknung hinzugezählt werden, um zum korrigierten TS-Gehalt ( $TS_k$ ) zu gelangen. Dafür gibt es spezielle Korrekturgleichungen.

### ■ Berechnung des Gasbildungspotenzials

Für die bisher üblicherweise als Substrate zur Biogasgewinnung genutzten Halm- und Körnerfrüchte errechnet sich das Gasbildungspotenzial je kg Trockensubstanz – und bei den daraus hergestellten Silagen je kg der

auf flüchtige Gärprodukte korrigierten Trockensubstanz – über folgende einfachen Gleichungen:

$$\text{Biogas [Normliter/kg } TS_k] = 0,800 \text{ FoTS [g/kg } TS_k]$$

$$\text{Methan [Normliter/kg } TS_k] = 0,420 \text{ FoTS [g/kg } TS_k]$$

Als Bezugsgröße wird hier bewusst die TS gegenüber der oTS bevorzugt. Landwirte rechnen bei Flächenertägen, Futter- und Substratmengen üblicherweise mit Gewichtseinheiten TS und nicht oTS. Wo es notwendig sein sollte, weil bestimmte, aus der Abfallwirtschaft stammende Kenngrößen in oTS ausgedrückt sind, lassen sich die Angaben zum Gasbildungspotenzial problemlos nachträglich auch auf oTS umrechnen.

Bei frischen und silierten Zuckerrüben ist im Gegensatz zu Halm- und Körnerfrüchten eine differenziertere Berechnung der potenziellen Gasausbeute je kg FoTS notwendig. Für die frischen Zuckerrüben ergibt sich dadurch, dass hier die Hauptmenge an FoTS nicht aus Polysacchariden (Stärke, Cellulose, Hemicellulosen) wie bei den Halm- und Körnerfrüchten, sondern aus einem Disaccharid (Saccharose)

besteht, eine niedrigere Gasausbeute je kg FoTS. Der Zucker hat ein etwas geringeres Gasbildungspotenzial. Bei den silierten Rüben kommt hinzu, dass der Alkohol gegenüber dem Zucker, aus dem er entstanden ist, ein erheblich größeres Gasbildungspotenzial besitzt. Deshalb müssen die Alkoholgehalte von Zuckerrübensilagen bekannt sein und entsprechende Zuschläge gemacht werden. Die Gleichungen zur Berechnung des Gasbildungspotenzials je kg Trockensubstanz oder korrigierter Trockensubstanz von frischen bzw. silierten Zuckerrüben lauten wie folgt (AL = Summe der Alkohole in g/kg  $TS_k$ ):

$$\text{Biogas [Normliter/kg } TS_k] = 0,750 \text{ FoTS} + 0,18 \text{ AL [g/kg } TS_k]$$

$$\text{Methan [Normliter/kg } TS_k] = 0,375 \text{ FoTS} + 0,32 \text{ AL [g/kg } TS_k]$$

Diese Gleichungen sind denen analog, die für die Halm- und Körnerfrüchte vorgeschlagen wurden, nur dass die variable, vom Alkoholgehalt abhängende Gasbildung je kg FoTS hier Berücksichtigung findet. Bei frischem Erntegut, so auch bei frischen Zuckerrüben, entfallen selbstverständlich die TS-Korrektur und die Zuschläge für AL. ▶

**Tabelle 3:** Vergleich des stöchiometrischen Gasbildungspotenzials von Halm- und Körnerfrüchten mit Ergebnissen von Fermenterbilanzen.

Methode der Ermittlung	Biogas Liter/kg FoTS <sup>2</sup>	Methan Liter/kg FoTS <sup>2</sup>	Methangehalt im Biogas [%]
Messung von Gasvolumen und Methangehalt	<b>802</b> (789...819)	<b>418</b> (402...434)	<b>51,7</b> (48,9...53,2)
Berechnung aus der elektrischen Arbeit (kWh)		<b>414</b> (405...421)	<b>51,6</b> (50,6...52,8)
Stöchiometrische Berechnung <sup>1</sup>	<b>809</b> (801...813)	<b>420</b> (414...425)	<b>51,9</b> (51,0...52,3)
Bei bisherigen Kalkulationen zur Substratbewertung unterstellt	<b>800</b>	<b>420</b>	<b>52,5</b>

<sup>1</sup> Annahme von 5 % Inkorporation der umsetzbaren FoTS in bakterielle Biomasse  
<sup>2</sup> umgesetzte bzw. umsetzbare FoTS

**Durch Praxis und Theorie bestätigt**

Alle diese Berechnungen zum Gasbildungspotenzials sind an die Richtigkeit der getroffenen Annahmen (z. B. der Gleichsetzung der wahr verdaulichen mit den potenziell fermentierbaren Nährstoffen) gebunden. Um zu überprüfen, ob die vorgeschlagene Methode richtige Ergebnisse liefert, sind Untersuchungen in der Praxis durchgeführt worden. Dazu erfolgte ein dreimonatiges Monitoring von drei Fermentern einer industriellen Anlage zur Biogaserzeugung, die zeitgleich und parallel nebeneinander mit einer identischen Substratration betrieben wurden. Die Substratration bestand – nach oTS-Anteilen gerechnet – zu 2 % aus Gülle, 15 % aus Getreideschrot und 83 % aus Maissilage. Zunächst ist gemessen worden, wie viel von der eingebrachten FoTS in den Fermentern umgesetzt worden ist. Das kann auf der Basis

einer Systemanalyse, wie sie in dem Diagramm (Abbildung) dargestellt ist, anhand der Zunahme des Rohaschegehaltes in der TS vom Substrat zum Gärrest errechnet werden. Der Ausnutzungsgrad ist in dem Diagramm durch den Nutzungsquotienten (NQ) symbolisiert. Als Ergebnis wurde im Durchschnitt ein Ausnutzungsgrad der FoTS von mehr als 98 % festgestellt. Eine praktisch vollständige Ausnutzung des umsetzbaren Anteils der oTS ist bei professionellem Fermenterbetrieb also möglich. Die nachweislich produzierte Menge an Biogas, Methan und elektrischem Strom (kWh) wurde dann durch die umgesetzte FoTS-Menge dividiert und so die spezifische Gasbildung je kg FoTS berechnet. Die Resultate, die so erzielt wurden, stimmen gut mit den vorausgesagten rund 800 Litern Biogas mit 420 Litern Methan je kg FoTS überein, was für die Richtigkeit der getroffenen Annahmen spricht.

Zur weiteren Absicherung der vorgeschlagenen potenziellen Gasausbeuten je kg FoTS sind schließlich umfangreiche stöchiometrische Berechnungen (Stöchiometrie: mengenmäßige Beschreibung chemischer Reaktionen) über das Gasbildungspotenzial der einzelnen Nährstoffe durchgeführt worden. Dafür gibt es exakte Gleichungen (z. B. die nach Buswell und Mueller). Die Anwendung der Gleichungen erfolgte nur auf den fermentierbaren Anteil der jeweiligen Nährstofffraktion. Außerdem wurden von den so berechneten theoretischen Gasausbeuten der Nährstoffe generell 5 % zum Ausgleich des Verbrauchs an umgesetzter FoTS für den Einbau (die Inkorporation) in bakterielle Biomasse subtrahiert. Diese für das Wachstum der Bakterien im Fermenter verbrauchte Menge an FoTS steht nicht für die Biogasbildung zur Verfügung und muss deshalb bei entsprechenden Kalkulationen berücksichtigt werden.

Das Gesamtergebnis dieser Studien ist in Tabelle 3 zusammengefasst. Dabei sind die angegebenen Gasmengen aus dem Praxisversuch auf Normbedingungen (273 K und 1013 hPa) umgerechnet worden. Die angegebenen

Spannweiten betreffen beim Praxisversuch die realisierte Gasausbeute in den einzelnen Fermentern, beim stöchiometrischen Gasbildungspotenzial betreffen sie die untersuchten Substratarten. Im Durchschnitt ergab sich eine überraschend gute Bestätigung des auf der Basis der bisherigen Annahmen ermittelten Gasbildungspotenzials je kg FoTS.

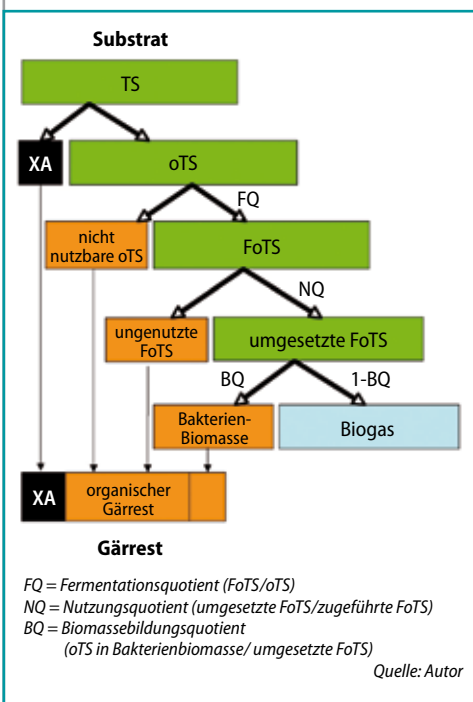
**Fazit:** Der Gehalt an FoTS eignet sich zur Kennzeichnung des Gasbildungspotenzials der nachwachsenden Rohstoffe. Die Gehalte an FoTS lassen sich problemlos in potenzielle Gaserträge umrechnen. Diese Methode führt im Vergleich zu der bisherigen Untersuchungspraxis zu höheren, richtigeren und die Qualitätsunterschiede differenzierter erfassenden Ergebnissen. Gegenüber Gärtests nach dem Batch-Verfahren hat die Methode den Vorteil, dass sie sehr gut reproduzierbare Ergebnisse liefert. Ihre Ergebnisse erlauben auch Aussagen zur möglichen Biogasbildung unter Praxisbedingungen, was für Gärtests (nach der einschlägigen VDI-Richtlinie 4630) ausdrücklich nicht gilt. Außerdem ist sie wesentlich schneller und kostengünstiger.

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 nutzen lässt. Sie ist identisch mit dem Gehalt an *wahr verdaulicher organischer Substanz*, wie dieser anhand von standardisierten Verdauungsversuchen mit Schafen berechnet werden kann.

Mit der Kenntnis dieses Potenzials kann die Beschickung der Fermenter bedarfsgerecht erfolgen. Erstmals kann damit auch kontrolliert werden, wie gut die Ausnutzung der Substrate bei der Fermentation war, d. h. wie effizient die Substrate verwertet wurden.

Die Umrechnung des Gehaltes an FoTS in das Gasbildungspotential der Biomasse von Halm- und Körnerfrüchten mit den angegebenen Faktoren, nämlich 800 Liter Biogas bzw. 420 Liter Methan je kg FoTS, kann als hinreichend gesichert gelten. Für frische und silierte Zuckerrüben sind spezielle Gleichungen erforderlich. (mö)

NL



**Abbildung:** Fraktionen der Substrat-TS und ihr Schicksal im Fermenter.

**Danksagung**

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