

GRASVERGÄRUNG AUS WISSENSCHAFTLICHER SICHT

Andreas Krieg, Torsten Fischer
Krieg & Fischer Ingenieure GmbH
Hannah-Vogt-Straße 1, 37085 Göttingen
Tel.: ++49(0)7707713, Fax: ++49(0)7707712
e-mail: krieg@kriegfischer.de
www.kriegfischer.de

1. EINFÜHRUNG

Die Vergärung von Gras ist eine der vielfältigen Möglichkeiten, Biomasse direkt als Quelle regenerativer Energie zu nutzen. Hierbei geht es darum, die in chemischer Form gebundene Sonnenenergie in einen vielseitig nutzbaren gasförmigen Zustand, das Biogas, zu wandeln. Gras gewinnt dadurch Bedeutung als Energiepflanze.

Die Vergärung von grünen Pflanzen bzw. Teilen davon war und ist weltweit Gegenstand von Forschung und Entwicklung unter verschiedenen Gesichtspunkten. Beispielsweise sollten auf diesem Wege in Thailand Wasserhyazinthen, die nicht als Viehfutter nutzbar waren, einer nutzbringenden Verwertung zugeführt werden (TENTSCHER, 1993). In Schweden stand der Anbau von Leguminosen als Cosubstrat in Vordergrund, um für einen wirtschaftlichen Betrieb von Vergärungsanlagen für die organische Fraktion von Hausmüll in ländlichen Regionen ausreichend vergärbare Biomasse zur Verfügung stellen zu können (NORDBERG, 1997). In Neuseeland zielten die Forschungsbemühungen dahin, ein Erdgassubstitut zu entwickeln (STEWART, 1992).

Die Änderung maßgeblicher Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland bildet heute die ökonomische Grundlage der Verwendung von Energiepflanzen in Biogasanlagen (N.N., 2000). Vor allem anderen soll aus dem Energieverkauf ein Gewinn Erlöst werden.

2. DIE VARIABLEN DES ENERGIEAUSTRAGS AUS GRAS

Über den erzielbaren Energieertrag aus Gras benötigen Planer und Betreiber von Biogasanlagen belastbare Daten. Prognosen werden dadurch erschwert, da der letztendliche Stromertrag von einem Hektar Energiepflanzen auf Umweltfaktoren sowie betrieblichen und technischen Parametern beruht. Diese sind:

1. Pflanzenart und –sorte (Ertragsfähigkeit)
2. Standort und Klima (Gründigkeit, Nährstoffe, Wasser, Temperatursumme)
3. Erntezeitpunkt und –technik (Inhaltsstoffe, Verluste)
4. Konservierung und Lagerung (Inhaltsstoffe, Verluste)
5. Gärprozessbedingungen (Abbaurate, Gasqualität)
6. Wirkungsgrad der Stromerzeugung

Ihrer Vielzahl und Unterschiedlichkeit entsprechend sind verlässliche Berechnungen unsicher. Die bisherigen Forschungsarbeiten können diese ungenügende Kalkulierbarkeit eines Betriebserfolgs nicht mindern, da v.a. die Punkte 1 und 5 untersucht wurden: bestimmte Pflanzen wurden definierten Gärprozessen unterzogen, wobei oftmals verfahrenstechnische Fragestellungen im Vordergrund standen (BAADER, 1986).

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Grundlagenforschung können mit ausgewählten Pflanzen und Betriebsparametern Gärversuche durchgeführt werden. Dies ist zeit- und kostenaufwendig. In aller Regel verbleibt eine Restunsicherheit, da die tatsächlichen Betriebsbedingungen der Anlage entscheidend die Energieausbeute beeinflussen.

Ein anderer rascher und kostengünstiger Ansatz ist, unter Zuhilfenahme der umfangreichen Datensammlungen aus Sorten- und Fütterungsversuchen das Energiepotential zu bestimmen. Es gilt den Grad der Übereinstimmung zwischen errechneten Daten (aus Futteranalysen und Verdaulichkeitsuntersuchungen) und gemessenen Daten (Gärversuchen) zu prüfen.

3. DIE GASERTRAGSPROGNOSE ÜBER INHALTSSTOFFE UND DIE VERDAULICHKEIT

Es bestehen Analogien zwischen den Verdauungsvorgängen bei Wiederkäuern sowie den Abbauvorgängen in einem Biogasfermenter.

Wesentliche Kennzahlen von Futterwerttabellen für Wiederkäuer sind die Umsetzbare Energie (UE) bzw. die Nettoenergielaktation (NEL) sowie die Verdaulichkeit (DLG-FUTTERWERTTABELLEN, 1997) (DDR-FUTTERBEWERTUNGSSYSTEM, 1989). Bezogen auf die anaerobe Vergärung entspricht dies am ehesten den Kenngrößen: Gasbildungspotential und Abbaurate.

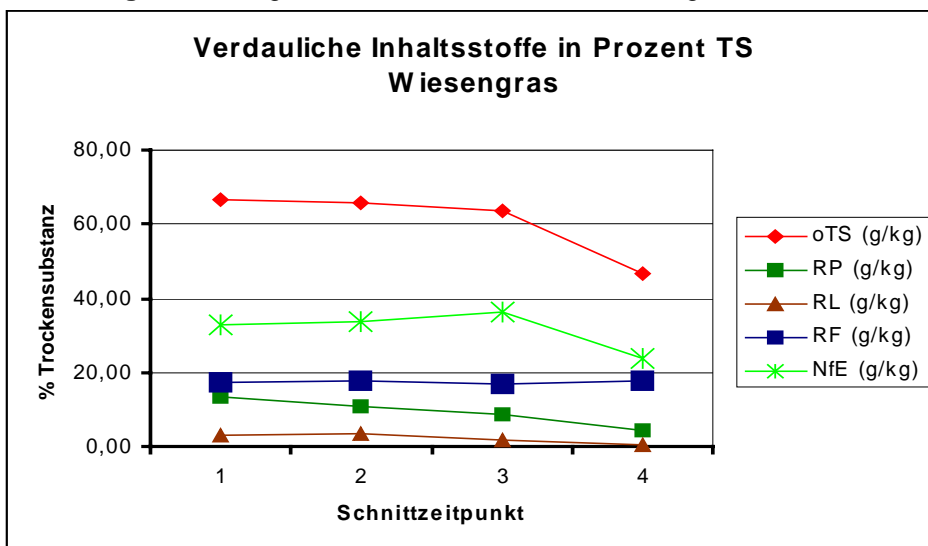
In Fütterungsversuchen wurden die Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe untersucht. Dieser Quotient ist abhängig u.a. von der Pflanzenart, bzw. der –sorte und dem –alter sowie dem Tier (physiologischer Status, Ernährungsniveau). In der Regel beziehen sich die Verdaulichkeitswerte auf ein Niveau, das dem Erhaltungsbedarf der Tiere entspricht. Die Verdaulichkeit ist insofern standardisiert. Der energetische Futterwert wird gewichtet mit verdauungsphysiologischen Vorgängen. So beeinflusst z.B. die Höhe der drei wichtigsten im Pansen gebildeten Fettsäuren und deren Verhältnis untereinander die Wirksamkeit der Energieverwertung. Analoges findet sich ebenfalls bei der anaeroben Vergärung.

Die Verbindung zur Abschätzung der Energieausbeute bilden speziell die Protein-, Fett- und Kohlenhydratgehalte, in Verbindung mit deren Verdaulichkeit, d.h. für das Tier nutzbaren Anteile. In einer Standard-Untersuchungsmethode, der Weender-Futtermittelanalyse, werden die Gehalte: Asche (RA), Eiweiß (RP), Fett (RL), Rohfaser (RF) sowie N-freie Extraktstoffe (NfE), bezogen auf die Trockensubstanz (TS) ermittelt. Die Anteile RF und NfE zusammen ergeben den Kohlenhydratgehalt.

Die wertbestimmenden Inhaltsstoffe variieren je nach Alter, d.h. Schnitzeitpunkt, der Pflanze, s. Abbildung 1. Darstellungsbeispiel ist der erste Schnitt von Wiesengras aus hochwertigem Bestand sowie einer Düngergabe von 100 kg Stickstoff.

1. vor dem Ährenschieben
2. nach dem Ährenschieben
3. Vollblüte
4. nach der Blüte

Abbildung 1: Wiesengras, verdauliche Inhaltsstoffe bezogen auf TS



Trotz eines zunächst zunehmenden Trockenmasseertrages ändert sich der Gehalt an verdaulicher organischer Trockensubstanz (oTS) kaum. Er nimmt ab der Blüte der Pflanze bedeutend ab.

Die anteilmäßig grössten Bestandteile an der oTS sind die Kohlenhydrate, RF und NfE. Die Hauptursache der Verringerung der Verdaulichkeit der oTS sind die NfE. Sie nimmt von 82 % auf 58 % ab.

Den verdaulichen Inhaltsstoffe wird eine spezifische Gasbildungsrate sowie ein Methangehalt zugeordnet, s. Tabelle 1.

Tabelle 1: Spezifische Gasbildungsrate und Methangehalt
(nach ROEDIGER, 1956)

	Gasbildungsrate	Methangehalt
verdauliches RP	0,7 l/g	71 %
verdauliches RL	1,25 l/g	66 %
verdauliches RF und NfE	0,79 l/g	50 %

Wird das Beispiel aus Abbildung 1 zugrundegelegt, verringert sich der Biogasertrag in Abhängigkeit des Schnittzeitpunkts von 593 l/kg oTS (vor dem Ährenschieben) auf 403 l/kg oTS (nach der Blüte). Dies entspricht einer Verminderung des spezifischen Ertrags um 32 %. Bezogen auf eine Tonne frisches Mähgut erhöht sich die Gasausbeute rechnerisch von 91 m³/Mg auf 103 m³/Mg.

Tabelle2: Spezifische Biogaserträge verschiedener Futterpflanzen
(errechnet über Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit)

	Spez. Biogasertrag (l/kg oTS)	Spez. Biogasertrag (l/kg Frischmasse)
Wiesengras v.d.Ährenschieben	593	91
- „ - nach der Blüte	403	103
Maissilage, Wachsreife	595	149
Luzernesilage, v.d. Blüte	535	80
Futterrüben	681	90
Rübenblatt, sauber	615	71

Diese Werte sind mit Gärversuchen auf Übereinstimmung zu prüfen.

4. GÄRVERSUCHE IM HALBTECHNISCHEN MASSSTAB

An der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig wurde unter Leitung von Prof. Dr. W. Baader ein über 290 Tage angelegter Versuch durchgeführt (BAADER, 1985). Ein über 120 Tage dauernder Versuch wurde an den landwirtschaftlichen Lehr- und Versuchsanstalten Triesdorf angestellt (KRIEG, 1995).

Neben verfahrenstechnischer Fragestellungen dienten die Versuche vor allem der Ermittlung der Prozessstabilität bei alleiniger Vergärung von Gras unter verschiedenen Belastungen. Es wurden im einstufigen Verfahren Fermenter mit Rührwerk eingesetzt. Die Gärtemperatur betrug 36 – 37 °C.

Die Raumbelastung (B_R) wurde in den Braunschweiger Versuchen von $0,4 \text{ kg/m}^3\text{d}$ bis auf $3,2 \text{ kg/m}^3\text{d}$ gesteigert. Es wurde sowohl die tägliche oTS-Fracht gesteigert, als auch die Verweilzeit (HRT) von 20 Tage auf 6,6 Tage reduziert. Dabei:

1. erhöhte sich die reaktorspezifische Gasausbeute (r_V) von $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ um das Dreifache auf $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$,
2. halbiert sich der spezifische Gasertrag (y) von 654 l/kg oTS auf 309 l/kg oTS .

Über den Versuchszeitraum blieb der Methangehalt mit 54 % bis 56 % relativ konstant. Die zugeführte oTS-Menge reduzierte sich dabei um 60 % bis 70 %. Der Fermenterinhalt wies einen konstanten pH-Wert um 8 auf.

Der Faulschlamm wurde anschließend entwässert und das Presswasser dem Fermenter wieder zugeführt. Über die Versuchsdauer stieg der TS-Gehalt im Presswasser von 4,5 % auf 9 % an. Ebenso nahm der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil von 2.000 mg/l auf 4.000 mg/l zu. Der Essigsäuregehalt erhöhte sich von 100 mg/l auf 550 mg/l . Als weiteres stellt Dr. Baader fest, daß sich die untersuchten Elemente P, Na, K, Mg, Ca, Zn, Fe, Mn und Cu nicht aufkonzentrieren.

Bei den Triesdorfer Versuchen konnte B_R von $0,6 \text{ kg/m}^3\text{d}$ auf $2,6 \text{ kg/m}^3\text{d}$ gesteigert werden. Die Verweilzeit wurde dabei bei 21 Tagen, die Gärtemperatur auf $37 \text{ }^\circ\text{C}$ konstant gehalten. Schwierigkeiten bereitete vor allem das Einbringen des Substrats. Der spezifische Biogasertrag, bezogen auf TS, verringerte sich dabei von 462 l/kg TS auf 425 l/kg TS (B_R 1,5). Bei Verwendung von Silage konnte eine etwas höhere Gasausbeute, 473 l/kg TS , festgestellt werden. Auch hierbei verminderte die Erhöhung von B_R die spezifische Gasausbeute auf 436 l/kg TS , vgl. Tabelle 3.

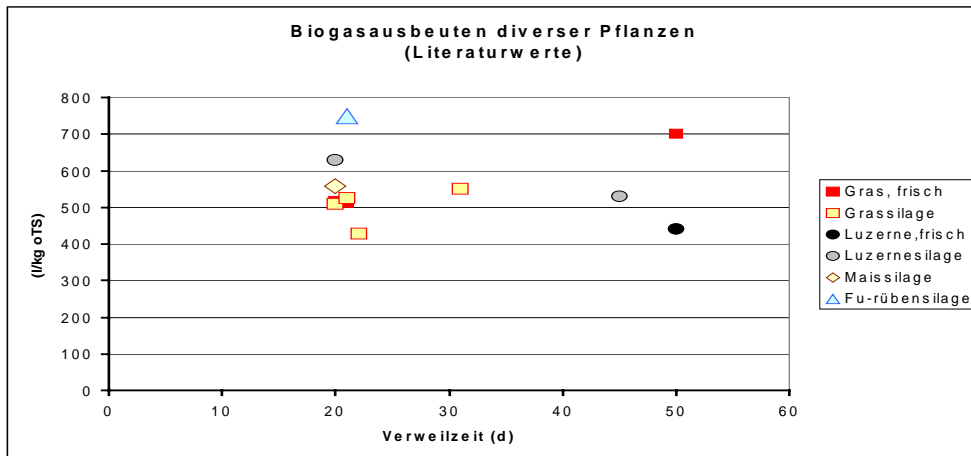
Tabelle 3: Spezifische Gaserträge in Abhängigkeit der Raumbelastung (Triesdorfer Versuche)

	TS-gehalt Frischschlamm (%)	Raumbelastung B_R ($\text{kg TS/m}^3 \text{ d}$)	spezifischer Biogasertrag (l/kg TS zugef.)
Silage I	2,25	1,0	473
Silage II	3,38	1,5	465
Grüngut I	1,35	0,6	462
Grüngut II	1,80	0,8	455
Grüngut III	3,38	1,5	425
Silage III	5,85	2,6	436

Kurz nach dem Einbringen des Substrats konnte eine starke Schaumentwicklung beobachtet werden. Dennoch blieb der pH-Wert über die gesamte Versuchsdauer relativ konstant zwischen 7 und 7,5. Der Methangehalt im Biogas lag durchschnittlich bei 65 %.

In der folgenden Abbildung sind weitere Versuchsergebnisse aus Laborversuchen, zusammengefasst aus diversen Quellen, aufgeführt. Die Resultate stammen aus kontinuierlich beschickten Fermentern, bei $\text{HRT} > 20$ Tage sowie bei Gärtemperaturen von etwa $37 \text{ }^\circ\text{C}$. Es wurden die entsprechenden Braunschweiger und Triesdorfer Versuche mit aufgenommen.

Abbildung 2: Biogasausbeuten aus Pflanzen (Laborversuche)



5. RESULTAT

Aus dem Studium von Literaturquellen sowie den Braunschweigern Versuchen folgert Dr. Baader:

1. Der Methanertrag sinkt bei zunehmendem Pflanzenalter bzw. bei steigendem Gehalt an Lignozellulose,
2. Pflanzen zeichnen sich im Vergleich zu Gülle u. dgl. durch eine geringe Pufferkapazität auf. In Verbindung mit höheren Gehalten einfacher Kohlenhydratverbindungen begrenzt dieser Umstand die tolerierte Raumbelastung auf etwa 2,5 – 3,0 kg/m³*d.
3. Die höchste Raumbelastung kann bei Verwendung von Pflanzen mit einem C/N-Verhältnis von 12 – 16 eingestellt werden.
4. Tendenziell eignen sich zur Vergärung Blattpflanzen (Mais, Süßgräser, Kohl u. dgl.) besser als Wurzelfrüchte (Kartoffeln, Rüben u. dgl.). Da Wurzelfrüchte einen vergleichsweise hohen Gehalt an Einfachzucker-Verbindungen besitzen, kann nur mit einer geringen Raumbelastung ein stabiler Gärprozess erreicht werden.

Die Versuche zeigten, daß bei etwa dreiwöchiger Verweilzeit und Fermentertemperaturen um 37 °C aus Gras sowie aus Grassilage spezifische Gasausbeuten von zwischen 400 l/kg oTS und 600 l/kg oTS zu erzielen sind. Bei längeren Verweilzeiten läßt die Gasausbeute, bei guter Grasqualität, anscheinend auf etwa 700 l/kg oTS steigern.

Die spezifische Gasausbeute sinkt bei zunehmender täglicher Fracht und/oder Verkürzung der Verweilzeit.

Die auf Grundlage von Futterwerttabellen errechnete Gasausbeute liegt in gleicher Höhe wie die gemessenen Werte bei den vorgenannten Prozeßparametern. Die Grasqualität wurde ausführlich in Schweizer Versuchsreihen berücksichtigt (Graf, 1999).

Die Unterschiede bei den maßgeblichen Inhaltsstoffen verschiedener Pflanzenarten, -sorten und -mischungen sind in Futterwerttabellen ausgewiesen. Dies kann bei Prognosen im Detail berücksichtigt werden. Da im Einzelfall nur mangelhafte Datengrundlagen aus Gärversuchen vorhanden sind, liegt die Vorzüglichkeit der Verwendung entsprechender Tabellen und des aufgezeigten Rechengangs auf der Hand.

LITERATUR

1. Nordberg, A., M. Edström: Co-digestion of ley crop silage, source-sorted municipal solid waste and municipal sewage sludge. In: Verstraete, W.: Anaerobic conversions for environmental protection, sanitation and re-use of residues, 5th FAO/SREN-Workshop, REUR Technical Series 52, University Gent, 03. 1997, p. 162 - 172
2. Stewart, J.: Energy from crop-grown Biomass. In: Baader, W.: Biotechnologies for pollution control and energy, 3rd CNREE/FAO-Workshop, REUR Technical Series 21, FAL Braunschweig, 05. 1992, p. 293 – 310
3. Baader, W.: Biogas production from green materials. FAO-CNRE Bulletin No. 10a, 1986, p. 12 - 16
4. DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer, 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 1997
5. DDR-Futterbewertungssystem, 7. Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1989
6. Baader, W.: Die Gewinnung von Biogas aus grünen und silierten Pflanzen in einem Reaktor mit innerem Flüssigkeitsumlauf. Posterbeitrag auf der 3. EG-Konferenz „Energy from Biomass“, Venedig, 03. 1985
7. Krieg, A., M. Braun, R. Bugar: Abschlußbericht des Forschungsprojekts Gras-Kraft. Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AIF), 01. 1995
8. Graf, W.: Kraftwerk Wiese. Hrsg.: Graf, W., Druck: Books on Demand, Wien, 1999, p. 34 – 48
9. Sedlmeyer, J.: Ergebnisse und praktische Erfahrungen bei der Vergärung von Futterrüben. In: Mit Biogas ins nächste Jahrtausend, Hrsg.: Fachverband Biogas e.V., Freising, 01. 2000, p. 130 – 135
10. Tentscher, W.: Anaerober Abbau von Wasserhyazinthen. Dissertation im FB Agrarwissenschaften Justus-Liebig-Universität Gießen. Wissenschaftlicher Fachverlag, Gießen 1993
11. N.N.: Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien. Umwelt Nr. 4, 2000, p. 188 – 191
12. Roediger, H.: Die anaerobe alkalische Schlammfäulung. Schriftenreihe GWF Wasser Abwasser Heft 1. R. Oldenburg Verlag München 1956