

Separat-Abdruck aus
**Schriften des Vereines zur Verbreitung
naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien**

Band 126. S. 181 – 192, Wien 1987

Biogas in Theorie und Praxis
von **Rudolf Braun, Wien**

Die Gewinnung von Biogas aus organischen Materialien hat die Menschheit schon seit langer Zeit beschäftigt. Bereits 1776 hat der italienische Physiker Alessandro Volta von „brennbarer Luft“ über Sümpfen berichtet. Davor beobachtete schon Robert Boyle (1682) Gasentwicklung bei der Zersetzung von pflanzlichem Material unter Luftabschluß. Etwa zu dieser Zeit beobachtete Antonie van Leeuwenhoek (1632 - 1723) als erster mit Hilfe starker Linsen Bakterien. Ein tieferes Verständnis für mikrobiologische Vorgänge wurde jedoch erst mit Begründung der modernen Mikrobiologie durch Louis Pasteur (1822 - 1895) und den neuen verfeinerten Züchtungsmethoden möglich.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts finden sich in der Literatur erstmals Forschungsberichte über den Chemismus von Biogas aus Zellulose noch als eine, durch *Bacillus methagenis* verursachte, bakterielle Gärung (Fig. 1). 50 Jahre später war es Barker (1956), welcher entdeckte, daß zumindest 2 Gruppen von

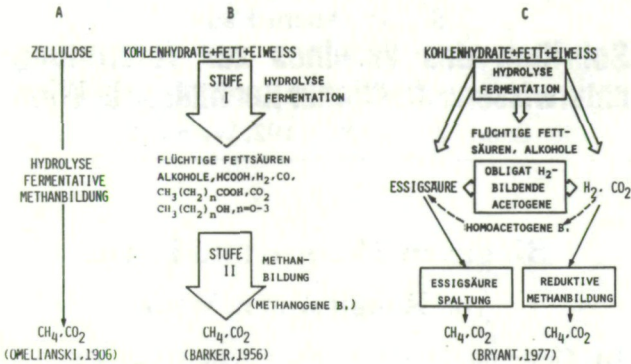


Fig. 1: Aufklärung von Chemismus und Mikrobiologie der Methangärung im 20. Jahrhundert.

Organismen, zunächst an Hydrolyse und Fermentation (hydrolytisch-fermentative Bakterien), später an der Umsetzung der Zwischenprodukte (Fettsäuren, Alkohole) zu Methan (Methanogene Bakterien) beteiligt sind. Erst Bryant (1977) gelang es durch Entdeckung der syntropischen Assoziation zwischen *Methanobacillus omelianskii* (Methanbildung) und dem Äthanoxidierenden obligat H₂-bildenden „S-Organismus“, die Existenz einer dritten Gruppe an der Umsetzung beteiligter Bakterien nachzuweisen. Damit war die Grundlage unseres heutigen Verständnisses der Methangärung geschaffen. Die Methanbakterien verwerten demzufolge neben CO₂ nur eine beschränkte Anzahl sehr einfacher organischer Verbindungen wie Ameisensäure, Essigsäure und Methanol. Die Vertreter dieser Gruppe sind bei physiologisch streng begrenztem Wirkungsspektrum

morphologisch sehr uneinheitlich und treten als Stäbchen, Kokken und Spirillen in Erscheinung. Physiologisch sind sie an streng anaerobe Bedingungen gebunden, sind vom psychophilen bis zum hochthermophilen Temperaturbereich (5 - 100° C) anzutreffen und zeichnen sich durch geringe Wachstumsgeschwindigkeit aus.

Die Biochemie der Umsetzung von CO₂ bzw. Carboxyl- und Methylgruppen zu CH₄ ist noch nicht restlos geklärt. Lediglich einige, der an der Reduktionssequenz der Barker'schen Hypothese (Fig. 2) beteiligten Coenzyme konnten identifiziert

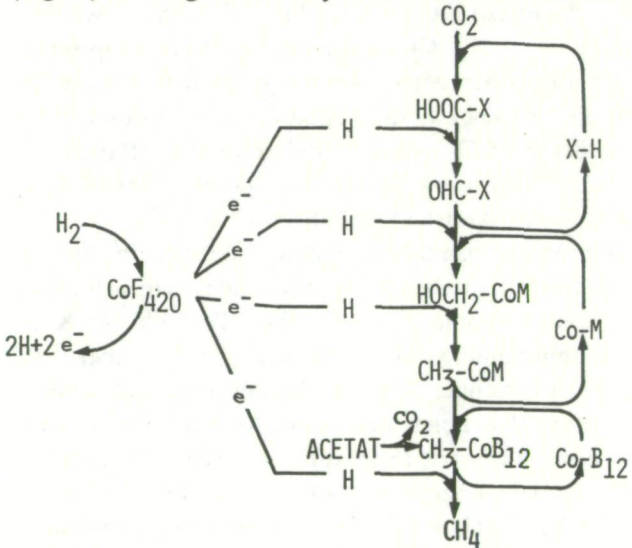


Fig. 2: CO₂-Reduktionsschema nach Barker (1956), erweitert nach Zeikus (1980).

werden. So sind das dem Vitamin B12 ähnliche Methylcobalamin, sowie das CoM (2-Mercaptoäthylsulfonsäure) an der Übertragung von Methylgruppen, bzw. deren Reduktion zu CH_4 beteiligt. Das CoF_{420} ist an der Elektronenübertragung beteiligt. Es wurde bisher nur in Methanbakterien nachgewiesen und wird infolge seiner Fluoreszenz zu deren spezifischen Nachweis in Mischpopulationen verwendet.

Methan nimmt eine zentrale Stellung im Stoffkreislauf der Natur ein. Nach Schätzungen entstehen jährlich in den Schlammsschichten von Meeren, Seen und Fließgewässern, sowie in Mooren, Sümpfen und im Verdauungstrakt von Wiederkäuern zwischen $0,55 - 1,3 \cdot 10^9$ t CH_4 (Vogels, 1979) als Endprodukt der anaeroben Mineralisierung. Nach Eintritt in die Troposphäre bzw. Stratosphäre wird CH_4 durch Ozon wieder zu CO_2 oxidiert und steht der pflanzlichen Photosynthese wieder zur Verfügung, womit sich der Kohlenstoffkreislauf geschlossen hat.

Den Mechanismus der Mineralisierung, dh. Stabilisierung organischen Materials, macht man sich in der Praxis seit langem zunutze. Die Technik der Klärschlammfäulung ist beispielsweise seit über 100 Jahren bekannt. Schon 1881 wurde von Mouras in Frankreich der erste Faulraum (Automatic scavenger) in Betrieb gesetzt. 1891 wurde von Scott-Moncrieff in England das erste Anaerobfilter errichtet. 1894 setzte Talbot in den USA den ersten Faulraum (Talbottank) in Betrieb, 1895 baute David Cameron den ersten Klärschlammfäulraum Großbritanniens. In Deutsch-

land wurde von Imhoff 1905 der erste Emscherbrunnen zur Abwasserfaulung eingesetzt. Diese ersten Vorläufer unserer heutigen „Faultürme“ von Kläranlagen waren unbeheizt und oft zur Atmosphäre offen. Das Auffangen des entstehenden Biogases wurde erst seit 1914 üblich, noch später ging man zur Beheizung der Faultanks über.

Heute werden in nahezu allen mittleren und großen Kommunalkläranlagen zur Klärschlammfaulung kontinuierlich betriebene, beheizte und gerührte Faultürme eingesetzt. Bei hydraulischen Verweilzeiten zwischen 11 - 30 Tagen wird der mit 4 - 6 % mechanisch voreingedickt anfallende Primär- und Überschußschlamm (Klärschlamm) der biologischen Abwasserreinigung zu etwa 80 % abgebaut. Etwa 90 % der organischen Schlamminhaltsstoffe finden sich danach im Biogas wieder. Je Kilogramm organischer Masse resultieren etwa 0,5 m³ Biogas, dessen Methangehalt üblicherweise bei 65 % (v/v) liegt. Neben etwa 35 % CO₂ treten nur noch geringe Mengen anderer Gase wie H₂S (0,3 %), H₂ und CO (Spuren) auf.

Abhängig von den Preisen fossiler Energieträger könnte auch aus landwirtschaftlichen Abfällen (Gülle, Mist, Pflanzenreste) hergestelltes Biogas eine gewisse regionale Bedeutung zur Energieversorgung in der Landwirtschaft erhalten. Schon in den Jahren vor dem 2. Weltkrieg hatte die landwirtschaftliche Biogastechnologie eine gewisse Bedeutung erlangt. Der Stand der Erfahrungen wurde damals von Liebmann

(1956) in seinem klassischen Werk „Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist“ (Verlag Oldenbourg) dargestellt. Preisgünstige fossile Energieträger ließen das Interesse an der Biogas-technologie jedoch bald wieder erlahmen, sodaß vor der Energiekrise von 1974 kaum mehr Biogasanlagen existierten. In den letzten 10 Jahren wurden dagegen vereinzelt wieder Biogasanlagen von Landwirten errichtet, sodaß in Österreich derzeit etwa 15 - 20, in der BRD und Schweiz etwa je hundert Anlagen existieren. Von China dagegen wird die Existenz von etwa 7 Millionen Kleinbiogasanlagen (Volumen etwa 10 m^3) berichtet (Stafford et al, 1980).

Vorrangig kommen in der Landwirtschaft tierische Exkrememente (Gülle und Mist) zur Biogasproduktion in Frage. Abhängig von Tierart, Entmistungsweise, Reaktorbauart und Betriebsbedingungen kann mit einer Biogausausbeute von etwa $0,8 - 3,3 \text{ m}^3$ je Großvieheinheit (= 500 kg Lebendgewicht) gerechnet werden (Tab. 1).

Für kleine bis mittlere Landwirtschaftsbetriebe, wie sie in Österreich in der Mehrzahl vorkommen, erweist sich unter den derzeitigen üblicherweise anzutreffenden ökonomischen Bedingungen eine Biogasproduktion als unrentabel (Braun, 1986). Nur in Ausnahmefällen oder bei sehr großen Landwirtschaftsbetrieben kann eine Biogasanlage rentabel betrieben, und eine Amortisation der Investition in wirtschaftlich tragbaren Zeiträumen erzielt werden. Ausführliche neuere Abhandlungen über die land-

Tab. 1: Exkrementanfall und mögliche Biogasproduktion verschiedener Tierarten
(GVE \approx Großvieheinheit \approx 500 kg)

Art	Lebend- gewicht (kg)	Exkre- mente (kg \cdot d ⁻¹)	Organische Trockensub- stanz (oTS) (% w/v)	Biogas- ausbeute (m ³ \cdot kg ⁻¹ oTS) (m ³ \cdot d ⁻¹ \cdot GVE ⁻¹)	Biogas- produktion (m ³ \cdot d ⁻¹ \cdot GVE ⁻¹)
Kuh	500	55,5	10,2	0,2	1,13
Schwein	70	4,6	6,04	0,4	0,8
Huhn	1,8	0,1	24	0,5	3,3

wirtschaftliche Biogastechnologie finden sich bei Wellinger et al (1984) und Braun (1982).

Sehr große Bedeutung erlangt die Methangärung neuerdings bei der Reinigung organisch verschmutzter Abwässer der Industrie. Der Verschmutzungsgrad solcher Industrieabläufe erreicht gemessen am chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) oft Werte von mehr als $100 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ (Tab. 2). Die Methangärung solcher

Tab. 2: Verschmutzungsgrad verschiedener organisch belasteter Abwässer gemessen am chemischen (CSB), bzw. biochemischen (BSB_5) Sauerstoffbedarf.

Betrieb	CSB ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	BSB_5 ($\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)
Kartoffelstärkeindustrie	2,9 - 10,3	2,5 - 5,6
Maisstärkeindustrie	8 - 30	9,5 - 10,4
Kartoffelverwertung	1,1 - 7,3	0,6 - 5,0
Brauerei	0,77 - 3,3	0,5 - 2,0
Konservenindustrie	0,25 - 1,6	0,14 - 0,78
Schlachthöfe	0,3 - 10,0	0,13 - 6,0
Molkerei	0,25 - 8,6	0,2 - 6,0
Obstverwertung	0,42 - 23	0,1 - 11,8
Brennereien	30 - 100	20 - 75
Tierkörperbeseitigung	3,7 - 108	3,4 - 98

Industrieabläufe reduziert den Verschmutzungsgrad zumeist in hohem Ausmaß und macht solche Abläufe einer weitergehenden Reinigung in den herkömmlichen aeroben Belebungsanlagen zugänglich. Der

Gesamtenergieaufwand zur Abwasserreinigung, bzw. die Betriebskosten der Anlage, liegen bei anaerober Vorreinigung infolge des aus dem anfallenden Biogas erzielbaren Gewinnes sehr günstig. Kann, wie dies häufig möglich ist, zusätzliches Biogas auch aus sonstigen organischen Abfallstoffen des Betriebes gewonnen werden, so ist eine zumindest teilweise, Eigenenergieversorgung derartiger Betriebe möglich. In Österreich existieren derzeit 3 derartige anaerobe Industrieabwasser-Vorreinigungsanlagen. Einige weitere sind in Bau, eine Vielzahl in Planung. Im benachbarten Ausland (BRD, Italien), sowie in Belgien, Holland, Frankreich und in Großbritannien existieren zahlreiche derartige, auf Methangärung basierende Abwasserreinigungsanlagen (Demuyne et al, 1984). Den Stand der Technik, sowie Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der anaeroben Abwasserreinigung beschreibt Kroiss (1985) in den kürzlich erschienenen Wiener Mitteilungen (Band 62) „Anaerobe Abwasserreinigung“.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Methangärung im Rahmen der biologischen Abwasserreinigung seit Jahrzehnten zur Klärschlammfaulung Stand der Technik ist. Zur Energieversorgung in der Landwirtschaft kann diese Technologie nur einen bescheidenen, unter Umständen jedoch regional wichtigen, Beitrag leisten. Von Fall zu Fall ist jedoch dabei die Rentabilität genauestens zu prüfen, da speziell bei Kleinanlagen ein bescheidener Biogasgewinn die hohen Investitionskosten nicht amortisiert.

Zur breiten Anwendung der Anaerobtechnologie auf dem großen Sektor der Industrieabwasserreinigung ist in Forschung und Entwicklung eine intensive weitere Befassung auf den Gebieten Substratabbaukinetik, sowie Reaktorenentwicklung und -hydraulik bei Betriebsverhalten erforderlich, um den derzeit zu beobachtenden Trend zur anaeroben Vorreinigung abzusichern und erfolgreich weiterführen zu können. Dies wäre sowohl aus ökologischer, wie auch betriebswirtschaftlicher Sicht erstrebenswert.

Literatur

- BARKER, H. A. (1956): Bacterial fermentations, John Wiley Sons, New York
- BRAUN, R. (1982): Biogas — Methangärung organischer Abfallstoffe, Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Springer Verlag Wien - New York
- BRAUN, R. (1986): Angewandte Mikrobiologie und Biogastechnologie. Vortrag Fachtagung „Biogas in der Landwirtschaft, Ergebnisse der österreichischen Biogasforschung 1980 - 1985“. Ingenieur- und Architektenverein, Wien
- BRYANT, M. P. (1977): The microbiology of anaerobic degradation and methanogenesis with special reference to sewage. In „Microbial energy conversion“ H. G. Schlegel und Barnea, J. (Hrsg.) Pergamon Press, Oxford
- DEMUYNCK, M., NYNS, E. J. und PALZ, W. (1984): Biogas plants in europe. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht - Boston - Lancaster
- OMELIANSKI, W. (1906): Über Methanbildung in der Natur bei biologischen Prozessen. Zbl. Bakt. Parasitenkunde II, 15, 673-687

- STAFFORD, D. A., HORTON, R. und HAWKES, D. L. (1980):
Methane production from waste organic matter. CRC-Press,
Boca Raton, Fla. USA
- VOGELS, G. D. (1979): The global cycle of methane. *Antonie
van Leeuwenhoek* 45, 347-352
- WELLINGER, A., EDELMANN, W., FAVRE, R., SEILER, B.
und WOSCHITZ, D. (1984): *Biogas Handbuch. Grundlagen,
Planung, Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen.* Verlag Wirz,
Aarau
- ZEIKUS, J. G. (1980): Microbial populations in digesters. In:
Proceedings of the 1st Int. Symp. Anaerobic Digestion, Cardiff.
Stafford, D. A.; Wheatly, B. I. und Hughes, D. E. (Hrsg.).
Appl. Sci. Publ., London

Anschrift des Verfassers:

Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Braun
Institut f. Angewandte Mikrobiologie
d. Universität für Bodenkultur
Peter Jordanstraße 82
1190 Wien

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [126](#)

Autor(en)/Author(s): Braun Rudolf

Artikel/Article: [Biogas in Theorie und Praxis. 181-192](#)