

# Zweistufige Druckfermentation: Neues Verfahren der Biogaserzeugung zur Netzeinspeisung

Anna-Maria Wonneberger, Frank Graf, Andreas Lemmer und Rainer Reimert

*Bei der Nutzung von erneuerbaren Energien zeichnet sich die energetische Veredlung von Biomasse dadurch aus, dass sie grundlastfähig ist. Neben anderen Möglichkeiten kann durch anaerobe Vergärung von Biomasse Biogas erzeugt werden, welches entweder in Rohgasleitungen oder nach Aufbereitung über das Erdgasnetz zu Verbrauchern transportierbar ist. Das Erdgasnetz bietet darüber hinaus die sehr attraktive Möglichkeit, erneuerbare Energie in Form von Methan (synthetischem Erdgas) zu speichern. Mit einem neuen, zweistufigen Verfahren zur Druckfermentation kann Biogas effizienter erzeugt, aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist werden.*

Die biochemische Umwandlung von Biomasse zu Methan wird deutschlandweit schon in knapp 6 000 Anlagen erfolgreich praktiziert [1]. In der Mehrzahl der Anlagen wird das Biogas direkt vor Ort in elektrische Energie und Wärme umgewandelt. Wird das Gas hingegen aufbereitet und in Erdgasnetze eingespeist, kann die Erzeugung von der Nutzung des Energieträgers Biogas entkoppelt und der Gesamtnutzungsgrad gesteigert werden. Da die Aufbereitung allerdings vergleichsweise aufwändig und kostenintensiv ist, wird sie bisher nur bei etwa 70 Biogasanlagen angewandt [2]. Die DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut, KIT und die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim entwickeln gemeinsam ein Verfahren zur zweistufigen Druckfermentation, das die Effizienz der Methanproduktion aus Biomasse deutlich steigert.

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, 10 % des Erdgasbedarfs bis 2030 über Biogas zu decken. Dafür müssten allerdings deutschlandweit etwa 1 500 Anlagen mit einer durchschnittlichen Einspeisung von

700 m<sup>3</sup>/h (NTP) errichtet werden. Die Biogasherstellung über anaerobe Vergärung ist bisher nicht für die Aufbereitung und die Einspeisung des Biogases in eine Erdgasleitung optimiert. Durch das hier vorgestellte Verfahren der zweistufigen Druckfermentation wird das Biogas einerseits bereits bei erhöhtem Druck produziert, was vorteilhaft für die Einspeisung ist. Zusätzlich bewirkt dieser eine starke Lösung von CO<sub>2</sub> in der Fermentationsflüssigkeit, die zu einem deutlich erhöhten Methangehalt des abgegebenen Biogases führt. Dadurch hat die Druckfermentation das Potenzial, die Erzeugung und die nachfolgende Einspeisung von aufbereitetem Biomethan in Verteilnetze effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

## Verfahren

Nach dem vorgestellten Verfahren wird Biomasse in zwei Reaktoren mikrobiologisch zu Biogas umgewandelt, wobei die zweite Stufe unter erhöhtem Druck betrieben wird (siehe Abb. 1). Das Substrat (z. B. Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger, biogene Reststoffe) wird in der ersten Stufe bei Atmosphärendruck

hydrolisiert und versäuert. Hierbei entsteht eine mit Nährstoffen angereicherte Fermentationsflüssigkeit, die anschließend in die zweite Prozessstufe, die Druck-Methanogenese, gepumpt wird. Eine Phasentrennung von festen und flüssigen Bestandteilen in der ersten Stufe ermöglicht in der zweiten Stufe den Einsatz von Festbett-Hochlastreaktoren zur Methangewinnung [3].

Durch die räumliche Trennung der in Abb. 2 dargestellten biologischen Abbauschritte können die Milieubedingungen (pH-Wert, Verweilzeit und Temperatur) separat eingestellt und damit der Prozess deutlich intensiviert werden [4, 5]. Die für die Gasproduktion optimalen Bedingungen sind ebenfalls in Abb. 2 abgebildet. In der Hydrolysestufe entsteht ein Gas (Hydrolysegas), das aus CO<sub>2</sub> und bis zu 50 Vol.-% Wasserstoff besteht. Das Hydrolysegas kann energetisch, bspw. in einem Blockheizkraftwerk oder in einer Brennstoffzelle, genutzt werden.

Die zweite Prozessstufe ist die namensgebende Druck-Methanogenese oder Druckfermentation und der grundlegend neue Prozessschritt des Verfahrens. Hier findet die Methanbildung unter erhöhtem Druck statt. Angestrebt sind Absolutdrücke deutlich höher als 5 bar.

In der aus der Methanogenese ausgeführten Flüssigkeit ist ein Teil des gebildeten Gases gelöst. Es entweicht in einer Entspannungsstufe (siehe Abb. 1). Ein Teil der entspannten Fermentationsflüssigkeit aus der zweiten Stufe wird zur pH-Wert-Stabilisierung in die erste Stufe zurückgeführt. Da das Entspannungsgas neben CO<sub>2</sub> auch Methan enthält, kann es zusammen mit weiteren methanhaltigen Schwachgas-

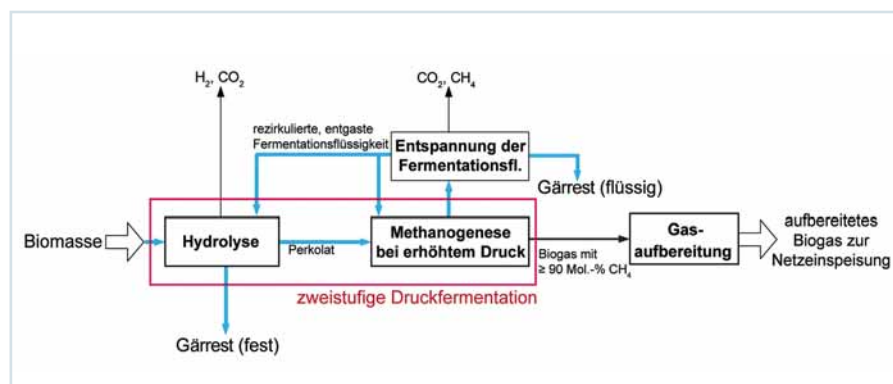


Abb. 1 Grundfließschema der zweistufigen Druckfermentation

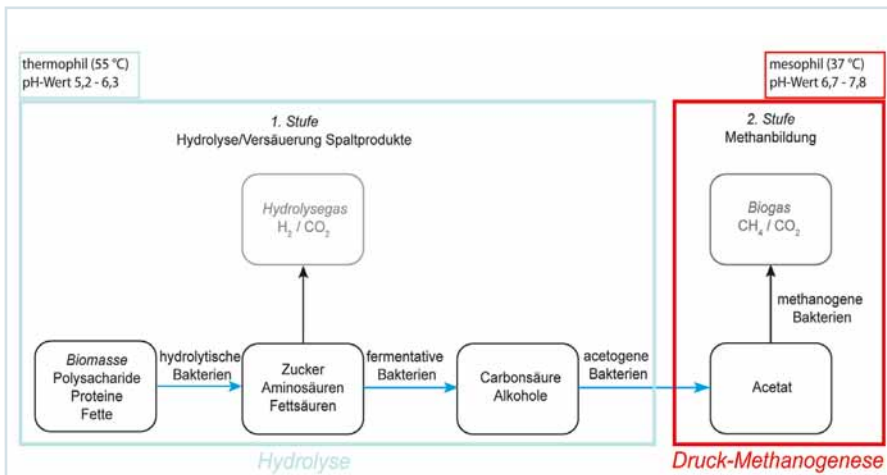


Abb. 2 Vereinfachte Abbauschritte der Vergärung von Biomasse [12]

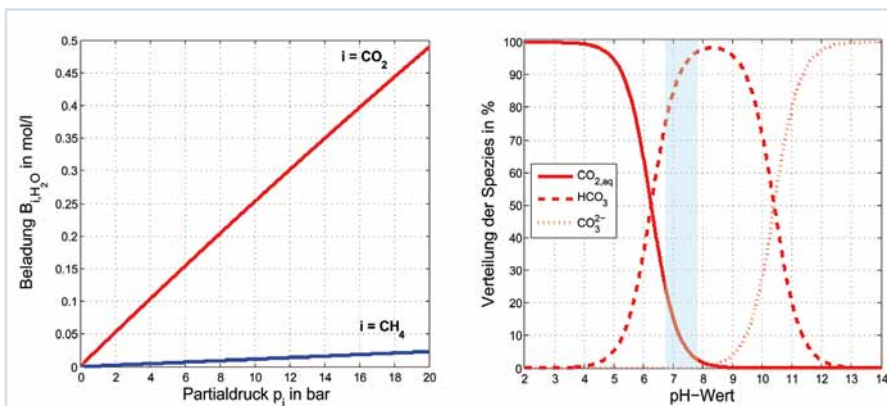


Abb. 3 Beladungen für Methan und Kohlenstoffdioxid in Wasser bei 35 °C (links); Reaktionsgleichgewicht der Kohlensäurereaktion (rechts): Der in der Methanogenese herrschende pH-Wertebereich ist blau gekennzeichnet

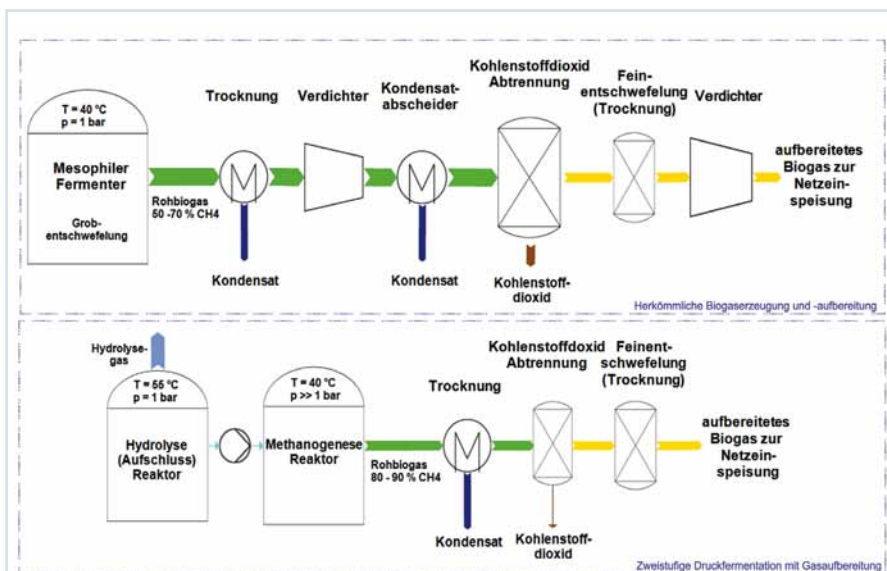


Abb. 4 Verfahrensschritte für eine Gasaufbereitung nach einer herkömmlichen Biogasanlage (oben) und nach einer zweistufigen Druckfermentation (unten)

strömen aus der Gasaufbereitung für die Beheizung der Fermenter verwendet oder in einem BHKW zu Strom und Wärme umgesetzt werden.

### Auswirkung auf die Biogaszusammensetzung

Durch den erhöhten Fermentationsdruck kommt es in der Fermentationsflüssigkeit zu einer verstärkten Lösung der Biogaskomponenten ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  und Spurengase). Da sich  $\text{CO}_2$  in der Fermentationsbrühe deutlich stärker löst als Methan (siehe Abb. 3 links) kommt es zu einer  $\text{CO}_2$ -Verarmung und zu einer Methananreicherung im Produktgas.

In der Methangärung muss der pH-Wert zwischen 6,7-7,8 liegen, um eine optimale Biogasproduktion zu gewährleisten (siehe Abb. 3 rechts). In diesem Bereich wird das gebildete  $\text{CO}_2$  als Hydrogencarbonat in der Fermentationsflüssigkeit gebunden, wodurch der rein physikalische Lösungseffekt des erhöhten Drucks in der Druckfermentation noch verstärkt wird. Simulationsrechnungen zeigen, dass Methangehalte von mehr als 90 % im abgegebenen Gas möglich sind.

Ein hoher Methangehalt verringert den Aufwand für die Aufbereitung des Gases aus der zweiten Stufe der Fermentation und ermöglicht so eine vergleichsweise einfache und kostengünstige Einspeisung. Negative Auswirkungen auf die biologische Methanbildung sind nicht zu erwarten. Verschiedene Literaturstellen berichten von unveränderter Methanproduktion bei erhöhtem Druck [6, 7]. Bleiben die anderen Prozessparameter wie Temperatur, Verweildauer und vor allem der pH-Wert konstant, ist eine ungehinderte Gasproduktion bis zu einem Druck von über 100 bar möglich [8, 9].

In konventionellen Biogasanlagen besteht die Gasaufbereitung aus den Teilschritten Trocknung,  $\text{H}_2\text{S}$ -Entfernung,  $\text{CO}_2$ -Entfernung und Verdichtung (Abb. 4, oben). Die zu erreichende Reinheit wird über die Anforderungen der DVGW-Arbeitsblätter G 260 und G 262 festgelegt [10, 11]. Für den aufwändigsten Schritt, die  $\text{CO}_2$ -Abtrennung, werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt [4]. Am weitesten verbreitet sind die Druckwechseladsorption (DWA) und

chemische (MEA, DEA) oder physikalische Wäschen, wie die Druckwasserwäsche (DWW) oder die Genosorb-Wäsche. Vereinzelt werden auch Membranverfahren oder kryogene Verfahren eingesetzt. Sowohl bei DWA als auch bei DWW muss das Biogas auf einen erhöhten Druck (meist größer 5 bar) komprimiert werden [4]. Für die anschließende Netzeinspeisung muss das Biogas auf Netzdruck (nach-)verdichtet werden.

Durch die zweistufige Druckfermentation entfällt die Verdichtung. Die Druckerhöhung der Fermentationsflüssigkeit benötigt im Vergleich zur Gasverdichtung deutlich weniger Energie. Allein durch die Vermeidung der Kompressionsarbeit können etwa 25-30 % des Energieaufwands und damit Betriebskosten für die Aufbereitung zu ein-speisefähigem Biogas eingespart werden. Außerdem lässt sich die CO<sub>2</sub>-Abtrennung kleiner dimensionieren als bei herkömmlichen Aufbereitungsanlagen, da ein Großteil des CO<sub>2</sub> bereits in der Druckfermentation abgetrennt wird. Weiterhin notwendig bleiben Verfahren zur Entfernung von Spurenkomponenten wie Schwefelwasserstoff und zur Trocknung.

## Weiterer Forschungsbedarf

Derzeit finden an der Universität Hohenheim weitere experimentelle Untersuchungen zur zweistufigen (Druck-) Fermentation im Labormaßstab statt. Diese Untersuchungen werden durch theoretische Arbeiten und begleitende Experimente zu Phasengleichgewichten und zum Stoffübergang an der DVGW-Forschungsstelle ergänzt, in denen auch die gaseitige Auslegung des Verfahrens bearbeitet wird. Die Arbeiten werden im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes B2G ([www.b-2-g.de](http://www.b-2-g.de)) durchgeführt.

## Literatur

- [1] Fachverband Biogas e. V.: Biogas Branchenzahlen 2011, [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen), Stand November 2011.
- [2] <http://www.biogaspartner.de/index.php?id=11871>, Stand August 2011.
- [3] Zielonka, S.; Lemmer, A.; Oechsner, H. und Jungblut, T.: Energy Balance of a Two-Phase Anaerobic Digestion Process for Energy Crops, *Engineering in Life Sciences* 2010, 10 (6), 515-519

- [4] Graf, F. und Bajohr, S. (Hrsg.): Biogas - Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung. Oldenbourg Industrieverlag, München 2011.
- [5] Deublein, D. und Steinhauser, A.: Biogas from waste and renewable resources. Wiley-VCH, 2008.
- [6] Friedmann, H.: Die mikrobielle Methangärung unter erhöhtem Druck, Fortschrittsberichte VDI, Reihe 3: Verfahrenstechnik, Nr.336. VDI Verlag, 1993.
- [7] Hayes, T. D. und Isaacson, H. R.: In situ methane enrichment in anaerobic digestion, in: *Biotechnology and Bioengineering* 35 (1990), S. 73-86.
- [8] Bernhardt, G.; Distech, A.; Jaenicke, R.; Koch, B.; Lidemann, H. D. und Stetter, K. O.: Effect of carbon dioxide and hydrostatic pressure on the pH of culture media and the growth of methanogens at elevated temperature, in: *Applied Microbiology and Biotechnology* 28 (1988), S. 176-181.
- [9] Lindebloom, R. E. F.; Feroso, F. G.; Weijma, J.; Zagt, K. und van Lier, J. B.: Autogenerative high pressure digestion: anaerobic digestion and biogas upgrading in a single step reactor system, in: *Water Science and Technology* 64(3) (2011), S. 647-653.
- [10] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs - technisch-wissenschaftlicher Verein e. V. (DVGW) (Hrsg.): Gasbeschaffenheit, DVGW-Arbeitsblatt G 260, 2008.
- [11] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs - technisch-wissenschaftlicher Verein e. V. (DVGW) (Hrsg.): Nutzung von Gasen aus regenerativen Quellen in der öffentlichen Gasversorgung, DVGW-Arbeitsblatt G 262, 2011.
- [12] Weiland, P.: Biologie der Biogaserzeugung, ZNR Biogastagung, Bad Sassendorf-Ostinghausen, 2.4.2003.

*Dipl.-Phys. A.-M. Wonneberger, Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. F. Graf, Prof. Dr.-Ing. R. Reimert, DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe; Dr. A. Lemmer, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim (LAB), Stuttgart*  
*wonneberger@dvwg-ebi.de*  
*rainer.reimert@kit.edu*  
*graf@dvwg-ebi.de*  
*andreas.lemmer@uni-hohenheim.de*