

## ProBioLNG – innovative Prozesskette zur ressourceneffizienten Erzeugung von Bio-LNG

ELENA HOLL, ANDREAS LEMMER

### 1 Einleitung

Der fortschreitende Klimawandel erfordert eine schnelle sektorübergreifende Energiewende. Biogas kann dabei als flexibler erneuerbarer Energieträger bereits heute einen erheblichen Beitrag leisten. Durch die Erzeugung von Methan aus nachwachsenden Roh- und Reststoffen kann ein klimaneutraler Kraftstoff hergestellt werden, der Kohlenstoffdioxid(CO<sub>2</sub>)-Emissionen vermeidet. Das Projekt ProBioLNG errichtet deshalb eine Demonstrationsanlage zur Herstellung von biomethanbasierten Kraftstoffen auf Basis einer zweistufigen Druckfermentation. Die neuartige Prozesskette wird unter einem erhöhten Prozessdruck von 10 bar betrieben und hat einen geringeren Strombedarf als konventionelle Anlagen. Das gesamte Projekt verbindet dabei innovative Konversions-, Power-to-Gas- und Gasaufbereitungsverfahren zur Produktion von Bio-LNG und Bio-CNG als lokal und schnell verfügbare Kraftstoffe.

### 2 Die ProBioLNG-Prozesskette

#### 2.1 Zweistufige Druckfermentation

Der Prozess der Biogasgärung erfolgt durch ein komplexes Konsortium von Mikroorganismen, das von Bakterien und Archaeen dominiert wird. Diese mikrobielle Substratkonversion ist ein komplexer, mehrstufiger Prozess; die Teilschritte der Biogasbildung sind dabei stets gleich: Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese. In der zweistufigen Druckfermentation werden im Gegensatz zu konventionellen Verfahren die einzelnen Abbauschritte bei der Vergärung von Biomasse zu Biogas räumlich getrennt (Abb. 1). Dabei wird zunächst in einem kontinuierlich durchmischten Hydrolysereaktor (AR) unter thermophilen Bedingungen (60 °C) Biomasse zu organischen Säuren zersetzt. Das entstandene sogenannte Hydrolysat enthält einen großen Anteil an gesamten suspendierten Feststoffen. Um eine Verstopfung des darauffolgenden Methanreaktors (MR) zu vermeiden, werden diese Partikel über eine Membranfiltration (MF) entfernt und in den AR zurückgeführt. Dies ermöglicht eine Entkopplung der Verweilzeit von Fest- und Flüssigphase, erhöht den Nutzungsgrad der Biomasse und verhindert die Ausbringung von Mikroorganismen aus dem AR (Tuczinski et al. 2018). In der darauffolgenden zweiten

Stufe, dem Methanreaktor (MR), erfolgt dann die Umsetzung des gefilterten Hydrolysat zu Biogas unter Druck. Die Druckerhöhung im Festbettreaktor erfolgt dabei ausschließlich durch die Mikroorganismen selbst („autogenerative high-pressure fermentation“) (Lemmer et al. 2018). Aufgrund der zehnmal höheren Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  im Vergleich zu Methan ( $\text{CH}_4$ ) kann dadurch ein Methananteil von mehr als 80 Vol.-% im Produktgas erreicht werden.

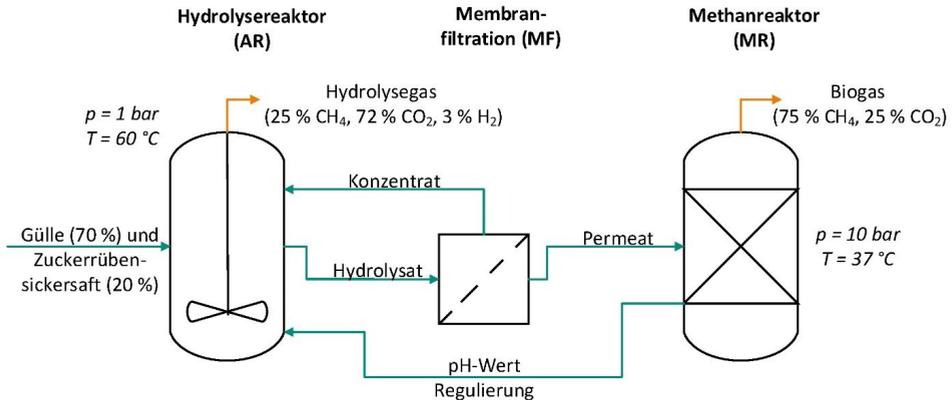


Abb. 1: Verfahrensfließbild der zweistufigen Druckfermentation

## 2.2 Power-to-Gas

Zur Erhöhung der Kohlenstoffausbeute kann die zweistufige Druckfermentation optional durch einen Power-to-Gas-Reaktor, in dem eine biologische Methanisierung (BM) erfolgt, erweitert werden. Durch den Einsatz von Überschussstrom für die Produktion von Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) durch Elektrolyse wird eine Kopplung von Strom- und Verkehrssektor erreicht. Der Abbau der gasförmig in den Prozess eingebrachten Edukte  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}_2$  durch Mikroorganismen läuft in einer wässrigen Phase bei Temperaturen von bis zu  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  ab und wird momentan bei Drücken von bis zu 10 bar realisiert (Bartlett 2002, Takai et al. 2008). Bei Versuchen im Labormaßstab mit einem Rieselbettreaktor wurden bei einem Druck von 10 bar  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen von bis zu 97 Vol.-% erreicht (Ullrich and Lemmer 2019).

## 2.3 Gasaufbereitung

Da das Biogas bei der Verflüssigung auf bis zu  $-161,5 \text{ }^\circ\text{C}$  abgekühlt wird, können  $\text{CO}_2$ , Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und weitere Gasbegleitstoffe ausfrieren, was im Verflüssigungsprozess verhindert werden muss. Diese Gaskomponenten müssen durch eine Gasaufbereitung nahezu vollständig entfernt

werden (Abb. 2). Zunächst reduziert eine neuartige chemische Wäsche die Restkonzentration von  $\text{CO}_2$  auf unter 1 Vol.-%. Anstelle konventioneller, aminbasierter Waschmittel werden ionische Flüssigkeiten eingesetzt. Diese sind Salzschmelzen, die schon bei Raumtemperatur flüssig sind und aufgrund ihrer molekularen Bindungen einen sehr geringen Dampfdruck aufweisen. Dies ermöglicht eine Desorption des  $\text{CO}_2$  bei Vakuum (Ortloff et al. 2018). Absorption und Desorption finden bei derselben Temperatur statt, was ein energieintensives Aufheizen der Flüssigkeit, z. B. bei konventionellen chemischen Wäschen, überflüssig macht. Die bei der Absorption freiwerdende Reaktionswärme gleicht dabei dem Energiebedarf der Desorption. Durch diesen quasi-isothermen Betrieb werden Wärmeverluste vermieden und ein energieeffizienter Betrieb gewährleistet.

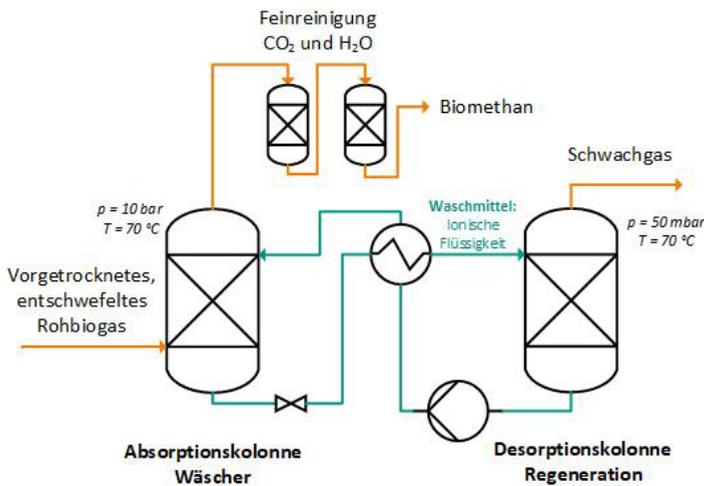


Abb. 2: Verfahrensfließbild der  $\text{CO}_2$ -Wäsche mit ionischen Flüssigkeiten

### 3 Fazit

Das Projekt ProBioLNG adressiert die derzeitigen Herausforderungen der Klima- und Energiekrise durch eine Flexibilisierung in der Energiebereitstellung, indem Strom-, Wärme- und Verkehrssektor gekoppelt werden. Im Verbundvorhaben wird dafür eine neuartige Prozesskette im Pilotmaßstab errichtet und betrieben, welche Biomasse zu Biogas umwandelt und zu Biomethan und Bio-LNG aufbereitet. Die gesamte Prozesskette wird auf ihre Wirtschaftlichkeit und Möglichkeit zur industriellen Nutzung untersucht sowie Antriebskonzepte für die Nutzung von CNG und LNG in landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen detailliert betrachtet. Die ersten Ergebnisse zeigen bereits positive Bilanzen für die Verfahrenskette, welche durch ihre Effizienz und dem Einsatz von 70% Gülle im Eingangssubstrat zur Treibhausgasreduktion beitragen kann.

## Literatur

- Bartlett, D.H. (2002): Pressure effects on in vivo microbial processes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Protein Structure and Molecular Enzymology* 1595, pp. 367–381, [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(01\)00357-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(01)00357-0)
- Lemmer, A.; Merkle, W.; Zielonka, S.; Graf, F.; Ortloff, F.; Bär, K.; Horn, H.; Saravia, F.; Tuczinski, M.; König, H.; Türkes, T.; Ahlert, S. (2018): Autogenerative Two-Phase High Pressure Fermentation (AG-HiPreFer): Integrative Biogaserzeugung und Aufbereitung zur Einspeisung in Hochdruck-Erdgasnetze. Schlussbericht
- Ortloff, F.; Roschitz, M.; Ahrens, M.; Graf, F.; Schubert, T.; Kolb, T. (2018): Characterization of functionalized ionic liquids for a new quasi-isothermal chemical biogas upgrading process. *Separation and Purification Technology* 195, pp. 413–430, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.12.014>
- Takai, K.; Nakamura, K.; Toki, T.; Tsunogai, U.; Miyazaki, M.; Miyazaki, J.; Hirayama, H.; Nakagawa, S.; Nunoura, T.; Horikoshi, K. (2008): Cell proliferation at 122 degrees C and isotopically heavy CH<sub>4</sub> production by a hyperthermophilic methanogen under high-pressure cultivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, pp. 10949–10954, <https://doi.org/10.1073/pnas.0712334105>
- Tuczinski, M.; Saravia, F.; Horn, H. (2018): Treatment of thermophilic hydrolysis reactor effluent with ceramic microfiltration membranes. *Bioprocess and biosystems engineering* 41, pp. 1561–1571, <https://doi.org/10.1007/s00449-018-1983-3>
- Ullrich, T.; Lemmer, A., 2019. Performance enhancement of biological methanation with trickle bed reactors by liquid flow modulation. *GCB Bioenergy* 11, pp. 63–71, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12547>

## Förderhinweis

Das Verbundprojekt wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) – Förderkennzeichen 03SF 0578A.