



**Umwelt-Campus Birkenfeld**  
FACHHOCHSCHULE TRIER

Schlussbericht zu

FKZ 2200 4707

„Effiziente Aufbereitung von Biogas mit  
Hilfe der Membrantechnik und einem  
kombinierten Verfahren“

---

eingereicht von:

Dipl. Wirt.-Ing.(FH) Sylvie Becker, B. Eng. Daniel Feind, B. Eng. Thomas Franzen,  
B. Eng. Björn Burger, Wladislaw Oehlerking, Prof. Dr.-Ing. Percy Kampeis  
Umwelt-Campus Birkenfeld, FH Trier  
Fachbereich Umweltplanung / Umwelttechnik  
Postfach 1380  
55761 Birkenfeld

eingereicht bei:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.  
Dr. Petra Schüsseler  
Hofplatz 1  
18276 Gülzow

eingereicht am:

27.05.2011

## **Kurzfassung**

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Versuche zur Reinigung von Biogas zur Einspeisung ins Erdgasnetz unternommen. Diese wurden an einer Biogasaufbereitungsanlage am Umwelt-Campus Birkenfeld durchgeführt, die die Reinigungsverfahren „Druckwasserwäsche“ und „Membrantrenntechnik“ (Gaspermeation) miteinander vereint. Ziel war es, mit Experimenten herauszufinden, ob durch das kombinierte Verfahren die Wirtschaftlichkeit der Gasreinigung soweit erhöht werden kann, dass die Technik der Biogasaufbereitung auch für kleinere Biogasanlagen interessant wird. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde dazu eine bestehende Technikumsanlage zur Druckwasserwäsche um die Membranmodule ergänzt. Leider hat nur ein Hersteller Membranmodule geliefert, so dass eine Untersuchung verschiedener Membranmodule nicht möglich war (siehe hierzu insbesondere Abschnitt I Präambel).

In den durchgeführten Versuchen zur Aufreinigung des Biogases wurden die Reinigungsleistungen der Membrantrenntechnik und der Druckwasserwäsche mit einem kombinierten Verfahren aus beiden Methoden verglichen. Bei den jeweiligen Verfahren wurden die Versuchsparameter so eingestellt, dass z. B. bei der Druckwasserwäsche die Abhängigkeiten des Aufreinigungserfolgs vom Waschwasservolumenstrom, der Temperatur des Waschwassers und der Druckstufe in der Absorptionskolonne ermittelt werden konnten. Die gewonnenen Daten bestätigen, dass die Technikumsanlage im Betriebsmodus „Druckwasserwäsche“ die bekannten Abhängigkeiten zeigte. Niedrige Temperatur, hohe Waschwasservolumenströme und hoher Druck in der Absorptionskolonne führen zu besseren Aufbereitungsergebnissen.

Bei der Gaspermeation wurde insbesondere untersucht, bei welchem Retentatdruck und bei welcher Transmembran-Druckdifferenz (TMP) die besten Aufreinigungsergebnisse erzielt werden können. Es zeichnet sich eine deutliche Tendenz ab, wonach bei konstantem TMP mit niedrigen Retentatdrücken bessere Methan-Konzentrationen im aufbereiteten Biogas erzielt werden können. Bei konstantem Retentatdruck liefern hohe TMP die besseren CH<sub>4</sub>-Werte. Jedoch ist ein großer TMP immer mit einem großen Permeatvolumenstrom, d. h. einem hohen Verlust von Methan über das Permeat, verbunden, was die Wirtschaftlichkeit stark in Frage stellt. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Technikumsanlage im Betriebsmodus „Membrantrenntechnik“ nicht die theoretisch zu erwartenden Ergebnisse liefern konnte. Der Grund hierfür ist nach Angabe des Herstellers, dass der *Feed*-Volumenstrom für das

verwendete Membranmodul in der Technikumsanlage zu gering ist (vgl. I Präambel). Somit konnte keine zufriedenstellende Betriebsweise für die Gaspermeation ermittelt werden.

Das kombinierte Verfahren sollte insbesondere hinsichtlich seiner Energieeinsparmöglichkeiten, wie beispielsweise die Senkung des Drucks in der Absorptionskolonne, die Verringerung der Pumpenleistung und der Betrieb ohne Kühlung untersucht werden. Ziel war je die Untersuchung, ob durch das kombinierte Verfahren die Wirtschaftlichkeit der Gasreinigung erhöht werden kann. Aufgrund der oben genannten Tatsache, dass dem Umwelt-Campus Birkenfeld ausschließlich von einer Firma ein Membranmodul verkauft wurde, das leider für höhere Feedvolumenströme ausgelegt ist, können mit den durchgeführten Versuchsreihen zum kombinierten Verfahren keine absoluten Daten zur Wirtschaftlichkeit generiert werden.

Allerdings konnten Trends erkannt werden, die es erlauben, das Potential des kombinierten Verfahrens durchaus als hoch einzustufen. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass der Druckwasserwäsche nachgeschaltete Membranmodule das Biogas recht effektiv trocknen können. Dabei können die Membranmodule mit dem Druck der Druckwasserwäsche ohne eine weitere Zwischenkomprimierung betrieben werden. Auf eine separate Trocknungseinheit nach der Druckwasserwäsche kann dann verzichtet werden. Ersetzt man eine Trocknungsanlage durch eine Membrananlage mit gleichen Investitionskosten, so ist es möglich, neben der gewünschten Biogastrocknung auch eine Verbesserung des Biogases zu erreichen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass für eine gleiche Biogasreinheit im kombinierten Verfahren – wie bereits bemerkt ohne zusätzliche Investitionskosten – der Energieeinsatz in der Druckwasserwäsche, z. B. in Form der Pumpenleistung des Waschwasservolumenstroms, gesenkt werden kann.

Leider wird das Forschungsvorhaben nicht weiter gefördert, so dass die oben genannten positiven Trends nicht weiter verifiziert und quantifiziert werden können.

## Inhaltsverzeichnis

I.	Präambel .....	1
II.	Aufgabenstellung .....	3
III.	Stand der Technik .....	5
III.1	Biogas .....	5
III.1.1	Zusammensetzung des natürlichen Biogases .....	5
III.1.2	Synthetische Mischung des Biogases für das Forschungsprojekt.....	6
III.2	Biogasaufbereitung .....	8
III.2.1	Biogasaufbereitung mittels Druckwasserwäsche .....	10
III.2.2	Biogasaufbereitung mittels Membrantrenntechnik .....	12
IV.	Beschreibung der Technikumsanlage .....	17
IV.1.1	Druckwasserwäsche .....	20
IV.1.2	Membrantrennung .....	22
IV.1.3	Kombiniertes Verfahren .....	24
IV.1.4	Sicherheitstechnik .....	24
V.	Erzielte Ergebnisse .....	25
V.1	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des kombinierten Verfahrens.....	25
V.1.1	Einfluss des Retentatdrucks $p_M$ und der Druckdifferenz $\Delta p$ .....	26
V.1.2	Energieeinsparung durch Druckabsenkung.....	29
V.1.3	Energieeinsparung durch Verminderung des Waschwasservolumenstroms.....	35
V.1.4	Energieeinsparung durch den Betrieb ohne Kühlung.....	46
V.1.5	Ergebnisdiskussion des kombinierten Verfahrens .....	49
V.1.6	Kombiniertes Verfahren mit zwei Membranmodulen .....	51
V.2	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis der Biogasreinigung mittels Druckwasserwäsche .....	53
V.2.1	Einfluss der Waschwassertemperatur.....	53
V.2.2	Einfluss des Waschwasservolumenstroms .....	56

V.2.3	Einfluss des Absorptionsdrucks .....	59
V.3	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis der Aufbereitung mittels Membrantrenntechnik .....	62
V.3.1	Gaspermeation mit einem Membranmodul.....	63
V.3.2	Berechnung der Permeabilitäten und der Trennfaktoren .....	68
V.3.3	Gaspermeation mit zwei Membranmodulen .....	73
V.4	Vergleich des Wassergehaltes im Produktstrom der verschiedenen Reinigungsmethoden.....	77
V.4.1	Taupunktbestimmung bei der Druckwasserwäsche .....	77
V.4.2	Taupunktbestimmung bei der Membrantrenntechnik .....	79
V.4.3	Taupunktbestimmung beim kombinierten Verfahren .....	80
V.4.4	Vergleich der erreichten Taupunkte.....	81
VI.	Verwertung .....	83
VI.1	Technische Erfolgsaussichten nach Ende des Vorhabens .....	83
VI.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten .....	84
VI.3	Investitionskostenvergleich zwischen den Membranmodulen und einer Adsorptionstrocknung .....	86
VII.	Quellenverzeichnis .....	88
VIII.	Anhang.....	A 1