

Effiziente Aufbereitung von Biogas zur Verstromung in PEM-Brennstoffzellen

Schlussbericht
im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende
Rohstoffe e.V.

Förderkennzeichen: 22023303
Berichtszeitraum: 01.03.2006 bis 31.08.2008
Bearbeiter: Dr.-Ing. Volkhard Scholz
Dipl.-Ing. (FH) Ralf Schmersahl
Dipl.-Ing. (FH) Janine Ellner

**Potsdam-Bornim
Dezember 2008**

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	V
Formelzeichen	VI
Indizes	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis.....	XI
1 Ziel- und Aufgabenstellung.....	1
2 Stand der Forschung und Entwicklung	4
2.1 Erzeugung und Eigenschaften von Biogas.....	4
2.1.1 Eigenschaften und Zusammensetzung von Biogas	4
2.1.2 Spurengase im Biogas	4
2.1.3 Einfluss der Substratzusammensetzung auf die Spurengasbildung	6
2.1.4 Einfluss des Gärverfahrens auf die Spurengasbildung.....	7
2.1.5 Methoden zur Messung von Spurengasen im Biogas	8
2.2 Technische Systeme zur gekoppelten Energieerzeugung aus Biogas	10
2.2.1 Einführung.....	10
2.2.2 Gas-Ottomotoren	12
2.2.3 Dieselmotoren	14
2.2.4 Stirlingmotoren.....	16
2.2.5 Mikrogasturbinen	17
2.2.6 Phosphorsäure Brennstoffzellen (PAFC).....	19
2.2.7 Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC)	20
2.2.8 Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC)	22
2.3 Nutzung von Biogas mit PEM-Brennstoffzellen	25
2.3.1 Aufbau und Funktion von PEM-Brennstoffzellen	25
2.3.2 Stationäre PEM-Brennstoffzellenanlagen	28
2.3.3 Wirkung von Spurengasen auf PEM-Brennstoffzellensysteme	31
2.3.4 Biogasgespeiste PEM-Brennstoffzellen.....	32
2.4 Reformierung	34
2.4.1 Reformierungsverfahren.....	34
2.4.2 Reformierung von Biogas	37
3 Material und Methoden	40
3.1 Biogasanalysen.....	40

3.1.1	Messprogramm zur Spurengasanalyse von Biogas	40
3.1.2	Messeinrichtung zur Spurengasanalyse	41
3.1.3	Biogas Probenahme- und aufgabe.....	43
3.1.4	Probenstabilität in den PETP-Probenbeuteln	43
3.1.5	GC-MS Methodenentwicklung	44
3.1.6	Kalibrierung, Nachweisgrenzen und Reproduzierbarkeit des GC-MS	45
3.1.7	Messdatenaufbereitung der Biogasanalysen	47
3.1.8	Qualitätssicherung und technische Probleme der Spurengasanalysen.....	47
3.1.9	Fehleranalyse.....	49
3.2	Biogasreformierung und Brennstoffzellenkopplung	50
3.2.1	Versuchsprogramm	50
3.2.2	Feed-Gase.....	53
3.2.3	Versuchsaufbau	55
3.2.4	Spezifikation des Versuchsreformers.....	56
3.2.5	Betrieb des Versuchsreformers	58
3.2.6	Spezifikation und Betrieb der PEM-Brennstoffzellenanlage.....	62
3.2.7	Pronova Gasanalysator	65
3.2.8	Berechnung von Kenngrößen und Bilanzierung	66
3.2.9	Prozesssimulation der Dampfreformierung	72
4	Spurengase im Biogas - Ergebnisse und Diskussion	74
4.1	Messergebnisse.....	74
4.1.1	Punktuelle Anlagenbeprobung	74
4.1.2	Gärverlaufsmessungen	76
4.2	Einflussgrößen auf die Spurengasbildung.....	81
4.2.1	Substrate	81
4.2.2	Temperatur	83
4.2.3	Raumbelastung	86
4.2.4	Prozessstrennung	87
4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	90
5	Biogasreformierung – Ergebnisse der Überblicksversuche	91
5.1	Teilprozess Reformierung	91
5.1.1	Wasserstoffreinheit.....	91
5.1.2	Kohlenmonoxidkonzentration.....	92
5.1.3	Methanumsatz	93
5.1.4	Vergleich der Versuchsergebnisse mit den Simulationsergebnissen	93
5.1.5	Wirkungsgrade	96

5.2	CO-Eliminierung	98
5.2.1	Reinigungsleistung der CO-Shift	98
5.2.2	Selektive Oxidation	100
5.2.3	Wirkungsgrade der CO-Eliminierung	101
5.3	Gesamtreformer	102
5.3.1	Wasserstoffreinheit	102
5.3.2	Wirkungsgrade des Reformers	103
6	Ermittlung optimierter Betriebsparameter für die Biogasreformierung	105
6.1	Darstellung der Messergebnisse und Modellierung	105
6.2	Kohlenmonoxidkonzentration	106
6.3	Optimierung auf einen hohen Gaswirkungsgrad	108
6.4	Optimierung auf einen hohen Wasserstoffwirkungsgrad	109
6.5	Reformierung von nativem Biogas	110
7	Gekoppelter Betrieb von Reformier und Brennstoffzelle	112
7.1	Brennstoffzellenbetrieb mit Biogasreformat	112
7.2	Optimierung des Reformierwirkungsgrades für ein PEM-Brennstoffzellensystem	113
8	Zusammenfassung und Ausblick	115
	Literaturverzeichnis	119

Anlagen

- Anlage 1 Erfolgskontrollbericht
- Anlage 2 Patentübersicht