

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielstellung	2
2	Stand der Wissenschaft und Technik	5
2.1	Grundlagen der Biogastechnologie	5
2.1.1	Der Biogasbildungsprozess	5
2.1.2	Einflussfaktoren auf den Gärprozess	7
2.1.3	Optimierung des Gärprozesses durch Substraterschöpfung	10
2.2	Membranen in der Biogastechnologie	15
2.2.1	Grundlagen der Membrantechnologie	15
2.2.1.1	Membranverfahren	17
2.2.1.2	Membranklassifizierungen	19
2.2.1.3	Membranwerkstoffe	20
2.2.1.4	Membranmodule	21
2.2.1.5	Membranbetriebsarten	24
2.2.1.6	Membrankonfigurationen	25
2.2.1.7	Membranfouling	26
2.2.2	Vergärung in Kombination mit Membrantechnik	28
3	Komponenten des Versuchsaufbaus	38
3.1	Versuchsbiogasanlage	38
3.2	Membraneinheit	41
3.2.1	Auswahl von Membranverfahren, Modulbauform und Konfiguration	41
3.2.2	Beschreibung der Membraneinheit - Konfiguration 1	45
3.2.3	Beschreibung der Membraneinheit - Konfiguration 2	48
3.2.4	Beschreibung der Membraneinheit - Konfiguration 3	49
3.3	Fermenterkonzepte zur Gaspotentialbestimmung im Permeat	50

4	Material und Methoden	53
4.1	Einsatzstoffe	53
4.1.1	Membranen	53
4.1.2	Gärsubstrat	53
4.1.3	Inokulum	54
4.1.4	Permeat	55
4.2	Methodisches Vorgehen	56
4.2.1	Gärversuche in der Versuchsbiogasanlage	56
4.2.2	Gärversuche zur Gaspotentialbestimmung im Permeat	57
4.2.3	Berechnungsgrundlagen bei der Auswertung der Gärversuche	59
4.2.4	Prozessanalytische Methoden	59
4.2.4.1	Gärsubstrat, Gärmedium, Gärreststoff	59
4.2.4.2	Permeat	63
5	Ergebnisse	64
5.1	Membranbetrieb	64
5.1.1	Einfluss der Membrankonfiguration auf die Permeatflussrate	64
5.1.1.1	Membranbetrieb mit einem Rohrmodul (Konfiguration 1)	64
5.1.1.2	Reihenschaltung von zwei Rohrmodulen (Konfiguration 2)	65
5.1.1.3	Parallele Schaltung von vier Rohrmodulen (Konfiguration 3)	66
5.1.2	Einfluss der Trenngrenze auf die Permeatflussrate	68
5.1.3	Einfluss des TS-Gehalts auf die Permeatflussrate	70
5.1.4	Einfluss der Reinigung der Membranmodule auf die Permeatflussrate	71
5.1.5	Betrachtung der Störanfälligkeit der Membraneinheit	72
5.2	Gärversuche	75
5.2.1	Erzeugung von Referenzwerten ohne Membranbetrieb	75
5.2.2	Erzeugung von Vergleichswerten mit und ohne Membranbetrieb	79
5.3	Gaspotentialbestimmung im Permeat	98
5.3.1	Vergleich der Zusammensetzungen des Permeats und des Fermenterinzhalts	98
5.3.2	Gaspotential bei unterschiedlichen Verweilzeiten	99
5.3.3	Gaspotential bei unterschiedlichen Konzentrationen an VFA	102

6 Diskussion der Ergebnisse	106
6.1 Membranbetrieb	106
6.1.1 Membrankonfiguration	106
6.1.2 Einflussfaktoren auf die Permeatflussrate.....	108
6.1.3 Membranreinigung	109
6.2 Gärversuche	110
6.3 Gaspotentialbestimmung im Permeat.....	114
7 Zusammenfassung und Ausblick	115
Abbildungsverzeichnis	120
Tabellenverzeichnis	124
Literaturverzeichnis	126
Anhang	139