

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2	Biogasanlagen	5
2.1	Einführung.....	5
2.2	Mikrobiologische Grundlagen des anaeroben Abbaus	7
2.3	Verfahrenstechnische Umsetzung	11
2.4	Parameter und Messanalytik zur Prozesskontrolle und Behebung von Prozessstörungen	17
2.4.1	<i>Parameter zur Beurteilung des Prozesszustands</i>	<i>18</i>
2.4.2	<i>Parameter zur Früherkennung von Prozessstörungen</i>	<i>21</i>
2.5	Biogas- und Methanausbeute	25
2.6	Mathematische Modelle in der Anaerobtechnik für Rührkesselreaktoren.....	26
2.7	MSR-Technik auf Biogasanlagen	27
2.7.1	<i>Messtechnik für Biogasanlagen</i>	<i>27</i>
2.7.2	<i>Stand von Steuerungs-, Regelungs- und Automatisierungskonzepten für Biogasanlagen</i>	<i>34</i>
2.7.3	<i>Einfluss von MSR-Technik auf die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen.....</i>	<i>36</i>
2.8	Zwischenfazit	38
3	Materialien und Methoden	42
3.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen	42
3.1.1	<i>Beschreibung der Verfahrenstechnik der untersuchten Biogasanlagen</i>	<i>42</i>
3.1.2	<i>Beschreibung der MSR-Technik der untersuchten Biogasanlagen</i>	<i>47</i>
3.1.3	<i>Gründe für die Auswahl der Anlagen</i>	<i>50</i>
3.2	Datengrundlagen	51
3.2.1	<i>Datenbanken und Betriebstagebücher.....</i>	<i>51</i>
3.2.2	<i>Messkampagnen.....</i>	<i>51</i>
3.3	Untersuchungen zur Durchmischung des Reaktorinhalts und der homogenen Verteilung der Substrate	54
3.3.1	<i>Temperaturverteilung</i>	<i>55</i>
3.3.2	<i>Entgasung des Faulschlammes.....</i>	<i>55</i>
3.3.3	<i>Repräsentativität der Probe</i>	<i>56</i>

3.4	Einsatz der Messtechnik auf den untersuchten Biogasanlagen	57
3.4.1	<i>Trockenmasse, organische Trockenmasse und Trockensubstanz</i>	57
3.4.2	<i>pH-Wert, Redox-Potenzial und Leitfähigkeit</i>	57
3.4.3	<i>Organische Säuren</i>	58
3.4.4	<i>Ammonium und Ammoniak</i>	58
3.4.5	<i>Säurekapazität</i>	58
3.4.6	<i>CSB</i>	58
3.4.7	<i>Biogaszusammensetzung und -mengenmessung</i>	59
3.4.8	<i>Erfassung der Massenströme – Durchflussmessungen</i>	59
3.4.9	<i>Füllstandmessung und Volumenbestimmung</i>	59
3.4.10	<i>NIRS</i>	60
3.5	Statische Bilanzierung der Stoffströme	60
3.6	Entwicklung eines Modells zur dynamischen Erstellung von Massenbilanzen	61
3.6.1	<i>Anforderungen an ein Bilanzierungsmodell</i>	61
3.6.2	<i>Grundlagen des entwickelten massenbilanzbasiertes Modells des anaeroben Abbaus</i>	63
3.7	Zwischenfazit	67
4	Systemanalyse der untersuchten Biogasanlagen	69
4.1	Durchmischung des Reaktorinhalts und Homogenität der Substrate	69
4.1.1	<i>Temperaturverteilung</i>	69
4.1.2	<i>Entgasung des Faulschlammes</i>	71
4.1.3	<i>Repräsentativität der Probe</i>	75
4.2	Eignung von Messverfahren	84
4.2.1	<i>Trockenmasse, organische Trockenmasse und Trockensubstanz</i>	84
4.2.2	<i>pH-Wert, Redox-Potenzial und Leitfähigkeit</i>	89
4.2.3	<i>Organische Säuren</i>	91
4.2.4	<i>Säurekapazität</i>	93
4.2.5	<i>Biogaszusammensetzung und -mengenmessung</i>	95
4.2.6	<i>Erfassung der Massenströme des Faulschlammes über Durchflussmessungen</i>	99
4.2.7	<i>Füllstands- und Volumenmessungen</i>	99
4.2.8	<i>NIRS</i>	102
4.3	Einsatz der Messtechnik für die Überwachung der Anlagen	104
4.3.1	<i>Biogasanlage Wambeln</i>	104

4.3.2	<i>Biogasanlage Leibach</i>	106
4.3.3	<i>Biogasanlage Nordholz</i>	107
4.4	Stoff- und Energiebilanzen auf untersuchten Biogasanlagen	109
4.4.1	<i>Vorbemerkungen</i>	109
4.4.2	<i>BGA Leibach</i>	109
4.4.3	<i>BGA Nordholz</i>	123
4.4.4	<i>BGA Wambeln</i>	135
4.5	Ergebnisse der Simulation mit Hilfe des entwickelten mathematischen Modells.	143
4.5.1	<i>Berechnung der Soll-Methan und Soll-Biogasproduktion anhand einer Online-Massenbilanz</i>	143
4.5.2	<i>Berechnung der NH_4-N Konzentrationen</i>	145
4.5.3	<i>Berechnung der Konzentrationen der organischen Säuren</i>	147
4.5.4	<i>Berechnung des TM-Gehaltes</i>	148
4.6	Zwischenfazit	149
4.6.1	<i>Analyse der Durchmischung der Reaktorinhalts und der Homogenität der Substrate</i>	149
4.6.2	<i>Analyse des Einsatzes der Messtechnik auf den untersuchten Biogasanlagen</i>	150
4.6.3	<i>Statische Bilanzierung der Stoffströme</i>	152
4.6.4	<i>Ergebnisse der Simulation mit Hilfe des entwickelten mathematischen Modells</i>	154
5	Entwurf eines anlagenweiten Steuerungs- und Regelungskonzeptes für Biogasanlagen	156
5.1	Abgrenzung und Einleitung.....	156
5.2	Überwachung der Prozessstabilität	158
5.3	Regelung der Substratzufuhr	160
5.4	Regelung der Rührtechnik	165
5.5	Steuerung und Regelung der Gasverwertungsanlagen und der Gasspeicher.....	167
5.6	Zwischenfazit	169
6	Fazit und Ausblick.....	172
	Literatur.....	174
	Anhang	183