

# Inhalt

Vorwort	IX
Formelzeichen	X
<b>Teil I Landwirtschaft</b>	
<b>1. Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklungsgeschichte landwirtschaftlicher Biogasanlagen	1
1.2 Überblick über die Verbreitung des Verfahrens der Methan- gewinnung	4
1.3 Regionale Verteilung der landwirtschaftlichen Biogasanlagen	6
1.4 Motive zum Anlagenbau	6
1.5 Problemstellung	9
1.6 Stand des Wissens	9
1.7 Ziel der Arbeit	12
1.8 Festlegung des Begriffs „Landwirtschaftliche Biogasanlage“	12
1.9 Abgrenzung	12
<b>2. Planung landwirtschaftlicher Biogasanlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Planungsablauf und Planungsstrategie	13
2.2 Planungsmodell	14
2.2.1 Konstruktion des Planungsmodells	14
2.2.2 Gewinnung der Zielfunktion	15
2.2.3 Modellansatz	17
2.2.4 Datenermittlung	19
2.2.5 Ermittlung der Einsatzgrenzen technischer Systeme	19
<b>3. Betriebliche Randbedingungen</b>	<b>20</b>
3.1 Allgemeines	20
3.2 Stallhaltungsformen und Entmistungstechnik	20
3.3 Beschaffenheit und Eigenschaften des Substrates, Rohstoffmengen	24
3.3.1 Allgemeine Hinweise, Verdauungswege und -wirkungen	24
3.3.2 Stoffzusammensetzung	26
3.3.3 Physikalische Eigenschaften	31
3.3.4 Mengenanfall und Verfügbarkeit	37
3.4 Energiebedarf	40
3.4.1 Energiebedarf des Haushaltes	40
3.4.2 Energiebedarf der pflanzlichen Produktion	41
3.4.3 Energiebedarf der tierischen Produktion	42
<b>4. Das Biogasverfahren</b>	<b>44</b>
4.1 Verfahrensumfang	44
4.2 Der Faulprozeß	45
4.3 Die Wirkungen des Faulprozesses	47

4.4	Gasausbeute und Abbaugeschwindigkeit beeinflussende Faktoren . . . . .	49
4.4.1	Allgemeines . . . . .	49
4.4.2	pH-Wert, Säurekapazität und Konzentration organischer Säuren . . . . .	50
4.4.3	Nährstoffe . . . . .	51
4.4.4	Gärtemperatur . . . . .	51
4.4.5	Hemmstoffe . . . . .	52
4.4.5.1	Einfluß des Stoffwechselproduktes Ammonium . . . . .	52
4.4.5.2	Futtermittelzusätze, Antibiotika, Chemotherapeutika, Desinfektionsmittel . . . . .	54
4.4.5.3	Substratzusammensetzung . . . . .	56
4.4.6	Zusammenfassung . . . . .	56
4.5	Kulturformen und Anlagentypen . . . . .	57
4.5.1	Einstufige Anlagen . . . . .	57
4.5.2	Mehrstufige Anlagen . . . . .	66
4.5.3	Zusammenfassung . . . . .	67
4.6	Abbauleistung sowie Gas- und Methanbildungsvermögen ausgewählter Anlagentypen bei verschiedenen landw. Substraten . . . . .	70
4.6.1	Allgemeine Herleitung . . . . .	70
4.6.2	Faulung pumpfähiger Substrate . . . . .	72
4.6.2.1	Versuchesergebnisse . . . . .	72
4.6.2.2	Vergärung Rinderflüssigmist . . . . .	73
4.6.2.3	Vergärung Schweineflüssigmist . . . . .	80
4.7	Verfahrensschritte der Biogasgewinnung . . . . .	85
4.7.1	Einmengen von Feststoffen in das Fördergut . . . . .	85
4.7.2	Fördern . . . . .	86
4.7.3	Reaktorbeheizung . . . . .	88
4.7.4	Rühren und Mischen, Abführen von Sink- und Schwimmstoffen aus dem Reaktor . . . . .	95
4.8	Auswahl und Optimierung von Reaktorbauweisen . . . . .	99
4.9	Gasverwertung . . . . .	108
4.9.1	Gasaufbereitung . . . . .	108
4.9.2	Gasverwendung . . . . .	108
4.9.3	Anpassung an den Energiebedarf . . . . .	109
4.10	Energiebilanz der Biogasanlage . . . . .	111
4.10.1	Energiebilanz bei der Wärmebereitstellung . . . . .	111
4.10.2	Energiebilanz bei der kombinierten Elektrizitäts-Wärmebereitstellung . . . . .	115
4.11	Investitionsbedarf . . . . .	116
5.	<b>Ermittlung des Kapitalwertes und ausführliche Darstellung der Zielfunktion zur Anlagenoptimierung für ausgewählte Formen der Gasverwertung . . . . .</b>	<b>119</b>
5.1	Wärmebereitstellung . . . . .	119
5.1.1	Allgemeine Beziehung für die Berechnung . . . . .	119
5.1.2	Ermittlung der Bestimmungsgrößen . . . . .	120

5.2	Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung . . . . .	123
5.2.1	Allgemeine Beziehung für die Berechnung . . . . .	123
5.2.2	Ermittlung der Bestimmungsgrößen . . . . .	123
5.3	Zusammenfassung, Formulierung der Zielfunktion, Folgerungen, weiteres Vorgehen . . . . .	125
6.	<b>Anlagenbemessung unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten im Falle der Wärmebereitstellung . . . . .</b>	<b>127</b>
6.1	Reaktorbemessung für Schweineflüssigmist . . . . .	127
6.1.1	Randbedingungen . . . . .	127
6.1.2	Vorüberlegungen zur Anlagenauslegung . . . . .	127
6.1.3	Anlagenbemessung bei gegenüber der täglich bereitstellbaren Energienmenge höherem Energiebedarf . . . . .	128
6.1.4	Anlagenbemessung für beliebige betriebliche Bedingungen . . . . .	144
6.1.5	Optimale Wärmedämmung . . . . .	148
6.1.6	Optimale Prozeßtemperatur . . . . .	151
6.1.7	Zusammenfassung . . . . .	153
6.2	Reaktorbemessung für Rinderflüssigmist . . . . .	154
6.2.1	Vorüberlegungen . . . . .	154
6.2.2	Reaktorbemessung bei gegenüber der täglich bereitstellbaren Energienmenge höherem Energiebedarf . . . . .	155
6.2.2.1	Auslegung auf maximale Energiebereitstellung aus einem gegebenen Substratstrom . . . . .	155
6.2.2.2	Auslegung auf maximale Energiebereitstellung aus einem gegebenen Trockenmassestrom . . . . .	156
6.2.2.3	Auslegung auf maximale Wirtschaftlichkeit bei einem gegebenen Trockenmassestrom . . . . .	157
6.2.3	Reaktorbemessung für beliebige betriebliche Bedingungen . . . . .	158
6.2.4	Optimale Reaktorisation . . . . .	159
6.2.5	Optimale Prozeßtemperatur . . . . .	159
6.2.6	Zusammenfassung . . . . .	161
6.3	Reaktorbemessung für sonstige landwirtschaftliche Substrate . . . . .	163
6.4	Optimale Reaktortypen . . . . .	167
6.5	Auslegung von Energiespeichern zur optimalen betrieblichen Energiebedarfsdeckung . . . . .	168
6.5.1	Modellansatz . . . . .	168
6.5.2	Beispiel . . . . .	171
6.5.3	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	175
6.5.4	Zusammenfassung und Folgerungen . . . . .	175
7.	<b>Anlagenbemessung unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten im Falle der kombinierten Elektrizitäts- und Wärme- gewinnung . . . . .</b>	<b>176</b>
7.1	Vorüberlegungen zur Anlagenauslegung . . . . .	176
7.2	Reaktorbemessung bei gegenüber den täglich in Form von Wärme und Elektrizität bereitstellbaren Energiemengen höheren Energie- bedarf . . . . .	177

7.2.1	Auslegung auf maximale Energiebereitstellung aus einer gegebenen Substratmenge . . . . .	177
7.2.2	Auslegung auf maximale Energiebereitstellung sowie auf maximale Wirtschaftlichkeit aus einem gegebenen Trockenmassstrom . . .	177
8.	<b>Elektrizität oder Wärme aus Biogas?</b> . . . . .	184
9.	<b>Reaktorbemessung unter Berücksichtigung weiterer Verfahrenseffekte</b> . . . . .	190
10.	<b>Zulässige Investitionen</b> . . . . .	192
11.	<b>Kritik am Modell und der Güte seiner Aussagen</b> . . . . .	195
12.	<b>Zusammenfassung und Folgerungen</b> . . . . .	198

## **Teil II Abwassertechnik**

### **Einsatz des Planungsmodells in der kommunalen Abwassertechnik**

1.	<b>Vorbemerkung</b> . . . . .	202
2.	<b>Einführung</b> . . . . .	202
3.	<b>Problemstellung</b> . . . . .	204
3.1	<b>Anaerob-Verfahrenslinien</b> . . . . .	204
3.2	<b>Merkmale der Anaerob-Verfahrenslinien</b> . . . . .	206
3.3	<b>Auswahl und Bemessung</b> . . . . .	208
4.	<b>Lösungsansatz</b> . . . . .	210
5.	<b>Modellanwendung</b> . . . . .	211

## **Anhang:**

<b>Schrifttum</b> . . . . .	215
<b>Rechenprogramm</b>	
1. Überblick . . . . .	256
2. Das Wärmeprogramm . . . . .	256
3. Das Elektrizitätsprogramm . . . . .	260
4. Berücksichtigung weiterer, sonstiger Verfahrensauswirkungen . .	260
5. Programmausdruck . . . . .	265
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	283
<b>Weiterführende Literatur</b> . . . . .	285