

Inhalt

I	Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Deutschland	9
II	Anlagentechnik	14
1	Nassvergärung	15
1.1	Substrataufbereitung, -förderung und -einbringung	15
1.1.1	Feststoffeintragsysteme	18
1.1.2	Eintragssysteme für pumpfähige Substrate	24
1.2	Fermenterbauarten	26
1.3	Substrathomogenisierung	32
1.4	Fermenterheizungssysteme	37
1.5	Sedimentaustrag	39
2	Trockenvergärung	40
2.1	Diskontinuierliche Verfahren	41
2.2	Kontinuierliche Verfahren	43
3	Vergärung im Festbettfermenter	45
4	Biogasspeicherung	47
5	Verfahrens- und prozesstechnische Auslegungsgrößen	49
6	Messtechnik für Biogasanlagen	56
7	Sicherheitstechnik	58
8	Betriebsstörungen an Biogasanlagen	61
III	Substrate	65
1	Einordnung und Anfallmengen von Substraten	65
2	Substrate aus Wirtschaftsdüngern und tierischen Nebenprodukten	68
3	Energiepflanzen	71
3.1	Sorteneigenschaften, Standortansprüche und Nachernteverfahren von Energiepflanzen	71
3.2	Kennwerte zur Produktion und Kosten von Energiepflanzen	73
3.3	Substratlagerung	78
IV	Gasausbeute aus Substraten	89
1	Methoden zur Ermittlung der Gasausbeute	89
1.1	Batchversuche	89
1.2	Kontinuierliche Versuche	89
1.3	Rechenmodelle	90
1.4	Richtwerte für die Gasausbeute	94
2	Einflussfaktoren auf die Gasausbeute	95
2.1	Erntezeitpunkte von Energiepflanzen	95
2.2	Technische Faktoren	95

V	Biologie und Steuerung des Vergärungsprozesses	99
1	Ablauf der Biogasbildung	99
2	Stabilität des Gärprozesses	102
3	Erkennen von Prozessstörungen	106
4	Inbetriebnahme und Anfahrphase einer Biogasanlage	111
VI	Biogasverwertung	113
1.	Stromerzeugung	113
1.1	Blockheizkraftwerke (BHKW)	113
1.2	Mikrogasturbine	118
1.3	Brennstoffzelle	120
2	Auskoppelung und Nutzung der BHKW-Wärme	122
2.1	Nutzung der Wärme zur Beheizung von Gebäuden und Gewerbebetrieben	122
2.1.1	Kennwerte für Nahwärmenetze, Gebäude und nichtlandwirtschaftliche Gewerbebetriebe	122
2.1.2	Kosten für die Wärmeverteilung im Nahwärmenetz	124
2.2	Nutzung der Wärme im Gartenbau sowie in der Land- und Forstwirtschaft	126
2.2.1	Beheizung von Unterglaskulturen	127
2.2.2	Druschfruchttrocknung	128
2.2.3	Trocknung von Brennholz	130
2.2.4	Heizwärmebereitstellung für die Ferkelaufzucht	133
2.3	Antrieb von Organic-Rankine-Cycle-Anlagen (ORC)	134
2.4	Nutzung der Wärme zur Kühlung	135
2.4.1	Kältemaschinen	135
2.4.2	Milchkühlung	136
2.4.3	Kühlung von Obst und Gemüse	138
3	Biogasaufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz	139
3.1	Anforderungen an das einzuspeisende Biogas	139
3.2	Verfahren zur Aufbereitung von Biogas	142
3.2.1	Druckwasserwäsche (DWW)	143
3.2.2	Druckwechseladsorption (PSA)	144
3.2.3	Selexolverfahren	145
3.2.4	Aminwäsche	145
3.2.5	Membrantrennverfahren	145
3.2.6	Tieftemperaturverfahren (Kryogene Verfahren)	146
4	Nutzung von Biogas als Kraftstoff	149
4.1	Gasförmige und flüssige Kraftstoffe im Vergleich	149
4.2	Tankstellen und Betankungssysteme	151

VII	Gärreste	154
1	Lagerung von Gärresten	154
1.1	Lagerung von flüssigen Gärresten	154
1.2	Homogenisieren und Fördern von Gärresten	156
1.3	Minderung von Ammoniakemissionen bei der Lagerung von Gärresten	158
1.4	Lagerung von stapelbaren Gärresten (separierte Feststoffe und Gärreste aus der Trockenfermentation)	160
1.5	Investitionsbedarf Gärrestlager	161
2	Behandlung und Aufbereitung von Gärresten	162
2.1	Ziele der Behandlung und Aufbereitung von Gärresten	162
2.2	Verfahren der Behandlung und Aufbereitung von Gärresten	162
2.3	Investitionen und Kosten	167
3	Düngung mit Gärresten	170
3.1	Ableitung und Berechnung von Gärresteigenschaften	170
3.2	Nährstoffwirkung und Nährstoffbilanz	171
3.2.1	Ammoniakverluste, Emissionsminderung und Stickstoffwirkung	171
3.2.2	Nährstoffbilanz	174
3.3	Humusbilanz	177
4	Minderung von Methanemissionen bei der Lagerung von flüssigen Gärresten durch Gärrestlagerabdeckung	178
5	Hygiene und Schadstoffe	181
VIII	Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen	184
1	Erträge aus dem Stromverkauf nach EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)	184
2	Modellanlagen	187
2.1	Annahmen für die Modellanlagen	188
2.2	Leistungs-Kostenrechnung und Gewinnermittlung für die Modellanlagen	191
2.3	Biomassebereitstellungs- und Gärrestausbringungskosten	199
2.4	Auswirkung von Mechanisierung, Schlaggrößen und Wegstrecken auf die Feldflächenleistung und die Kosten der Substraternte und der Gärrestausbringung	201

IX	Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung	204
1	Energieaufwand und Energieertrag beim Energiepflanzenanbau	204
2	Treibhausgasbilanzen	205
2.1	Quellen für Treibhausgase bei der Biogaserzeugung	205
2.2	Einflussfaktoren auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen	206
2.2.1	Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen als Substrat	206
2.2.2	Auskoppelung von Wärme	208
2.2.3	Abdeckung des Gärrestlagers	209
2.3	Treibhausgasbilanzen von Praxis-Biogasanlagen und Minderungskosten	209
2.4	Einfluss von Substratart und Grad der Wärmeauskoppelung auf die Kosten für die Minderung von Treibhausgasen	212
3	Ökologische Bilanzierung der Biogaserzeugung	213
4	Zusammenfassung der Emissionsquellen und der ökologischen Effekte	215
X	Biogas in Kürze	218
	Anhang	228
	Datenherkünfte und Quellenangaben	228
	Institutionen	228
	Einheiten	230
	Elemente und chemische Verbindungen	231
	Abkürzungen	232
	Stichwörter	234
	KTBL-Veröffentlichungen	237
	aId-Veröffentlichungen	240