

Inhalt

I	LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOGASANLAGEN IN DEUTSCHLAND	11
II	BIOGASPRODUKTION	18
1	Allgemeines	18
2	Nassvergärung	20
2.1	Allgemeines.....	20
2.2	Substrataufbereitung	20
2.2.1	Übersicht der Verfahren zur Substrataufbereitung (Desintegration)	21
2.2.2	Verfahren zur Aufbereitung von Biomasse	24
2.3	Substratförderung und -einbringung	27
2.3.1	Allgemeines.....	27
2.3.2	Feststoffeintragssysteme	27
2.3.3	Eintragssysteme für pumpfähige Substrate	32
2.3.4	Fest-Flüssig-Eintragssysteme	34
2.3.5	Beispiele für Substrateintrags- und Fördersysteme	35
2.4	Fermenterbauarten.....	36
2.4.1	Allgemeines.....	36
2.4.2	Materialverwendung im Behälter- und Fermenterbau	38
2.4.3	Wirtschaftliche Kennwerte von Fermentern	40
2.4.4	Oberflächenbeschichtung von Fermentern.....	41
2.5	Fermenterdämmung	42
2.6	Armaturen und Rohrleitungen	43
2.7	Leckageerkennungssystem.....	47
2.8	Substrathomogenisierung	49
2.9	Fermenterheizungssysteme	57
2.10	Hygenisierung von Biomassen.....	59
2.11	Sedimentaustrag.....	61
3	Feststoffvergärung	62
3.1	Allgemeines.....	62
3.2	Diskontinuierliche Verfahren	63
3.3	Kontinuierliche Verfahren	65
4	Sonderverfahren.....	66
4.1	Gülle-Kleinanlagen.....	66
4.2	Festbettfermenter.....	68
5	Biogasspeicherung	70
5.1	Allgemeines.....	70
5.2	Interne Biogasspeicher.....	71
5.3	Externe Biogasspeicher	73

6	Verfahrens- und prozesstechnische Auslegungsgrößen	76
7	Messtechnik für Biogasanlagen	83
8	Sicherheitstechnik	89
9	Betriebsstörungen an Biogasanlagen	94
III	SUBSTRATE	98
1	Anfallmengen von Substraten.....	98
2	Substrate aus Wirtschaftsdüngern und tierischen Nebenprodukten.....	100
3	Energiepflanzen	104
3.1	Sorteneigenschaften, Standortansprüche und Nachernteverfahren von Energiepflanzen	105
3.2	Kennwerte zur Produktion und Kosten von Energiepflanzen	108
3.3	Substratlagerung	113
IV	GASAUSBEUTE AUS SUBSTRATEN	125
1	Methoden zur Ermittlung der Gasausbeute.....	125
1.1	Batchversuche	125
1.2	Kontinuierliche Versuche	126
1.3	Rechenmodelle.....	127
1.4	Berechnung von Normvolumen.....	130
2	Bezugsgrößen für den Energieertrag	131
3	Richtwerte für Gasausbeuten	132
3.1	Zusammensetzung von Biogas	132
3.2	Richtwerte und Laborergebnisse für Gasausbeuten wichtiger Biogassubstrate	132
3.3	Umrechnung der Gaserträge auf die Frischmasse und abweichende Trockenmassegehalte	136
3.4	Gasausbeuten gemäß Biomasseverordnung	136
4	Einflussfaktoren auf die Gasausbeute.....	141
4.1	Einfluss von Gärsubstrat	141
4.2	Technische Faktoren	143
4.3	Relative Substratausnutzung.....	146
V	BIOLOGIE UND STEUERUNG DES VERGÄRUNGSPROZESSES	148
1	Ablauf der Biogasbildung.....	148
2	Stabilität des Gärprozesses	153
3	Erkennen von Prozessstörungen	160
4	Inbetriebnahme und Anfahrphase einer Biogasanlage	165

VI	BIOGASVERWERTUNG	167
1	Allgemeines	167
2	Stromerzeugung	167
2.1	Blockheizkraftwerke (BHKW)	167
2.2	Mikrogasturbine	174
2.3	Brennstoffzelle	177
3	Auskopplung und Nutzung der BHKW-Wärme	179
3.1	Nutzung der Wärme zur Beheizung von Gebäuden und Gewerbebetrieben	180
3.1.1	Kennwerte für Nahwärmenetze, Gebäude und nicht landwirtschaftliche Gewerbebetriebe	180
3.1.2	Kosten für die Wärmeverteilung im Nahwärmenetz	183
3.2	Nutzung der Wärme im Gartenbau sowie in der Land- und Forstwirtschaft	186
3.2.1	Beheizung von Unterglaskulturen	188
3.2.2	Druschfruchttrocknung	190
3.2.3	Trocknung von Brennholz	192
3.2.4	Beheizung von Ställen	195
3.3	Stromerzeugung aus BHKW-Wärme mit Organic-Rankine-Cycle-Anlagen und Clausius-Rankine-Cycle-Anlagen	196
3.4	Nutzung der Wärme zur Kühlung	199
3.4.1	Kälteanlagen	199
3.4.2	Milchkühlung	203
3.4.3	Kühlung von Obst und Gemüse	205
4	Biogasaufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz	206
4.1	Allgemeines	206
4.2	Anforderungen an das einzuspeisende Biogas	207
4.3	Verfahren zur Aufbereitung von Biogas	209
4.3.1	Druckwasserwäsche (DWW)	211
4.3.2	Druckwechseladsorption (PSA)	213
4.3.3	Aminwäsche	214
4.3.4	Organisch-physikalische Wäsche (PEG-Wäsche)	216
4.3.5	Membrantrennverfahren	216
4.3.6	Tieftemperaturverfahren (kryogene Verfahren)	217
4.3.7	Vergleich der Aufbereitungsverfahren	217
5	Nutzung von Biogas als Kraftstoff	220
5.1	Gasförmige und flüssige Kraftstoffe im Vergleich	220
5.2	Tankstellen und Betankungssysteme	222

VII	GÄRPRODUKTE	227
1	Lagerung von Gärprodukten	227
1.1	Lagerung von flüssigen Gärprodukten	227
1.2	Homogenisieren und Fördern von Gärprodukten	229
1.3	Minderung von Ammoniakemissionen bei der Lagerung von Gärprodukten	231
1.4	Lagerung von stapelbaren Gärprodukten (separierte Feststoffe und Gärprodukte aus der Feststoffvergärung)	233
1.5	Investitionsbedarf Gärproduktlager	235
2	Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten	236
2.1	Ziele der Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten	236
2.2	Verfahren der Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten	237
2.2.1	Separation	237
2.2.2	Verfahren zur Aufbereitung der Festphase	240
2.2.3	Verfahren zur Aufbereitung der Flüssigphase	242
2.3	Planungsbeispiele für die Aufbereitung von 30 000 m ³ Gärprodukt	247
3	Düngung mit Gärprodukten	250
3.1	Ableitung und Berechnung von Gärprodukteigenschaften	250
3.2	Nährstoffwirkung und Nährstoffbilanz	253
3.2.1	Ammoniakverluste, Emissionsminderung und Stickstoffwirkung	253
3.2.2	Nährstoffbilanz	257
3.3	Humusbilanz	260
4	Minderung von Methanemissionen bei der Lagerung von flüssigen Gärprodukten durch Gärproduktlagerabdeckung	261
5	Hygiene und Schadstoffe	264
VIII	Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen	272
1	Erträge aus dem Stromverkauf nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	272
2	Modellanlagen	276
2.1	Annahmen für die Modellanlagen	278
2.2	Leistungs-Kostenrechnung	284
2.3	Sensitivitätsanalyse	297
2.4	Biomassebereitstellungs- und Gärrestausbringungskosten	299
2.5	Auswirkung von Mechanisierung, Schlaggrößen und Wegstrecken auf die Feldflächenleistung und die Kosten der Substraternte und der Gärrestausbringung	300

IX	ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DER BIOGASERZEUGUNG	304
1	Energieaufwand und Energieertrag beim Energiepflanzenanbau	304
2	Treibhausgasbilanzen	305
2.1	Quellen für Treibhausgase bei der Biogaserzeugung	305
2.2	Treibhausgasemissionen und -bilanzen landwirtschaftlicher Biogasanlagen	306
2.2.1	Treibhausgasbilanzen und -vermeidungskosten von Modellanlagen mit Vor-Ort-Verstromung	307
2.2.2	Treibhausgasemissionen der Modellanlagen mit Biogasaufbereitung zu Biomethan	310
2.3	Einflussfaktoren auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen	310
2.3.1	Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen als Substrat	311
2.3.2	Auskoppelung von Wärme	313
2.3.3	Abdeckung des Gärrestlagers	314
2.3.4	Indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC)	315
3	Ökologische Bilanzierung der Biogaserzeugung	316
4	Zusammenfassung der Emissionsquellen und der ökologischen Effekte	318
X	BIOGAS IN KÜRZE	322
XI	ANHANG	341
	Abkürzungen	341
	SI-Präfixe	347
	Elemente und Verbindungen	348
	Stichworte	350
	Personenverzeichnis	355
	KTBL-Veröffentlichungen	356
	aid Veröffentlichungen	360