

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Historischer Überblick	3
1.2	Politische Zielvorgaben	5
1.3	Stand der Biogasnutzung in Deutschland im Jahr 2010	8
1.4	Aufbereitetes Biogas als Kraftstoff	13
1.5	Literatur	14
2	Potenziale in Deutschland und Europa	17
2.1	Einleitung	17
2.2	Rohstoffpotenziale	17
2.2.1	Deutschland	19
2.2.2	Europa	27
2.3	Biogas-/Biomethanpotenziale	29
2.3.1	Deutschland	31
2.3.2	Europa	32
2.4	Nutzungspotenziale	34
2.4.1	Einsatzgebiete von Biomethan	34
2.4.2	Nutzungskonkurrenzen	36
2.4.2.1	Flächenkonkurrenzen	37
2.4.2.2	Nutzungskonkurrenzen um Biomassen	37
2.5	Literatur	38
2.6	Abkürzungen	40
3	Recht der Biogaseinspeisung	41
3.1	Einleitung	41
3.2	Ziele des Gesetzgebers	42
3.3	Die Biogasaufbereitung	42
3.3.1	Netzanschlussbegehren	43
3.3.2	Verantwortlichkeiten und Kostentragung beim Netzanschluss	45
3.4	Netznutzung für den Transport von Biogas	46
3.4.1	Grundregelungen der Netznutzung bei Biogas	46
3.4.2	Einspeiseentgelt nach § 20a GasNEV	48
3.4.3	Kostenwälzung, § 20b GasNEV, KoV III Anlage 4	49
3.5	Handel mit Biogas – Transportmodell und Zertifikatmodell	50

3.6	Vertragsstrukturen	51
3.7	Nutzungspfade bei der Gaseinspeisung.	52
3.7.1	Biogas im Mobilitätssektor	52
3.7.2	Biogas im Wärmemarkt	53
3.7.3	Biogas in der KWK-Nutzung.	54
3.8	Fazit	55
3.9	Literatur	55
4	Biogaseinspeisung – das technische Regelwerk	57
4.1	Regeln der Technik für Biogasanlagen – die Entwicklung.	57
4.2	Regelwerk für die Biogaseinspeisung – Was gibt es?	57
4.2.1	Regelwerk des DVGW	57
4.2.2	Andere Regelwerke für Biogas	58
4.3	Die Regeln der Technik im Einzelnen	60
4.3.1	DVGW-Arbeitsblatt G 260.	60
4.3.2	DVGW-Arbeitsblatt G 262.	62
4.3.3	DVGW-Arbeitsblatt G 685.	64
4.3.4	DVGW Prüfgrundlage VP 265-1	64
4.3.5	DVGW-Merkblatt G 265-2.	66
4.3.6	DVGW-Regelwerk – ein Ausblick	67
4.3.7	DWA-Merkblatt M 212	68
4.3.8	DWA-Merkblatt M 363	68
4.3.9	DWA-Merkblatt M 376	69
4.3.10	DWA-Merkblatt M 380	69
4.3.11	Richtlinien des VDI	69
4.3.12	KAS Merkblatt 12	70
4.3.13	TI 4 der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften	71
4.3.14	PTB-Richtlinie G 14.	71
4.4	Regelwerke für Biogas im deutschsprachigen Ausland	72
4.5	Biogas als Kraftstoff.	73
4.6	Europäische Kommission und Biogas	73
5	Biogaserzeugung	75
5.1	Einleitung	75
5.2	Biologie des Biogasprozesses	76
5.2.1	Grundlagen	76
5.2.2	Prozessschritte der Biogaserzeugung	77
5.2.3	Eignung verschiedener Substrate zur Biogasgewinnung	80
5.3	Einflussgrößen auf den Biogasprozesses.	84
5.3.1	Prozesstemperatur.	84

5.3.2	Schwefelwasserstoff	85
5.3.3	Ammoniumstickstoff	88
5.3.4	Makronährstoffe	88
5.3.5	Mikronährstoffe	89
5.4	Prozesskontrolle bei der Biogaserzeugung	90
5.4.1	Endproduktkontrolle	91
5.4.2	Zwischenproduktkontrolle	92
5.4.3	Milieukontrolle	93
5.5	Verfahrenstechnik der Biogaserzeugung	94
5.5.1	Einleitung	94
5.5.2	Verfahrenstechnik der Biogaserzeugung aus Abwässern	98
5.5.3	Biogaserzeugung aus Wirtschaftsdünger, nachwachsenden Rohstoffen und Abfallstoffen	99
5.5.4	Besonderheiten bei der Verwertung von biogenen Abfallstoffen	106
5.5.5	Planungsgrößen für den Bau von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	107
5.5.6	Zweiphasige Systeme zur Erzeugung von Biogas aus Wirtschaftsdüngern, nachwachsenden Rohstoffen und Abfallstoffen	110

5.5.7	Eigenstrombedarf von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	111
5.5.8	Eigenwärmbedarf von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	113
5.6	Zusammenfassung	114
5.7	Literatur	115
6	Transport von Rohbiogas	119
6.1	Einleitung	119
6.2	Transportkonzepte für Rohbiogas	120
6.3	Korrosionsverhalten und Materialschädigungen	123
6.3.1	Korrosionsverhalten	123
6.3.2	Schädigungen durch Mikroorganismen	127
6.3.2.1	Biofilmbildung	127
6.3.2.2	Mikrobielle Korrosion	128
6.3.2.3	Korrodierende Organismen	129
6.3.2.4	Biofouling	130
6.4	Materialauswahl	130
6.5	Rohbiogasteilaufbereitung und Verdichtung vor dem Transport	131
6.5.1	Entschwefelung	131
6.5.2	Entfeuchtung	131
6.5.2.1	Trocknung und Verdichtung vor dem Transport	133
6.5.2.2	Abscheidung des Wassers während des Transports	134
6.6	Gefahren beim Umgang mit Rohbiogas	135
6.7	Anzuwendendes Regelwerk für Transportleitungen von Rohbiogas	137
6.8	Literatur	138
7	Biogasaufbereitung	139
7.1	Einleitung	139
7.2	Anforderungen an die Gasaufbereitung	139
7.2.1	Regulatorische und technische Anforderungen	139
7.2.2	Prinzipieller Aufbau einer Gasaufbereitungsstrecke für Biogas	143
7.3	Verfahrenstechnische Grundlagen der Biogasaufbereitung	144
7.3.1	Adsorption	145
7.3.2	Absorption	147
7.3.2.1	Physikalische Wäschen	150
7.3.2.2	Chemische Wäschen	151
7.3.3	Permeation	152
7.3.4	Kryogenverfahren	155
7.4	Entschwefelungsverfahren	156
7.4.1	Biologische Entschwefelung	156
7.4.2	Biofilter	159

7.4.3	Chemische Entschwefelung – Adsorption und Fällung	160
7.4.4	Chemische Entschwefelung – (Fein-)Entschwefelung mit Aktivkohlen	162
7.4.5	Chemisch/biologische Entschwefelung	163
7.5	CO ₂ -Entfernung durch Druckwechseladsorption	163
7.6	CO ₂ -Entfernung mit Wäschen	164
7.6.1	Physikalische Wäschen	166
7.6.2	Chemische Wäschen	171
7.7	Weitere Verfahren zur Gasaufbereitung	179
7.7.1	Membran-Biogasaufbereitung	180
7.7.2	Kryogen-Biogasaufbereitung	181
7.8	Gastrocknung	182
7.9	Entfernung weiterer Störkomponenten aus dem Biogas	184
7.9.1	Sauerstoffentfernung/Stickstoffentfernung	184
7.9.1.1	Eignung der Druckwechseladsorption (DWA) zur O ₂ - und N ₂ -Entfernung	186
7.9.1.2	Eignung der Druckwasserwäsche (DWW) zur O ₂ - und N ₂ -Entfernung	187
7.9.1.3	Eignung der Monoethanolamin-Wäsche (MEA) zur O ₂ - und N ₂ -Entfernung	187
7.9.1.4	Weitere Verfahren zur Entfernung von O ₂	188
7.9.2	Entfernung von Siloxanen und Ammoniak	190
7.9.2.1	Siloxane	190
7.9.2.2	Ammoniak	191
7.9.3	Aufbereitung bei der Rückspeisung von Biogas in Netze höherer Druckstufe	191
7.10	Schwachgasbehandlung	193
7.11	Abschließende Bewertung	199
7.11.1	Chemische Wäsche (DEA)	200
7.11.2	Druckwasserwäsche (DWW) und Genosorb®-Wäsche (GW)	201
7.11.3	Druckwechseladsorption (DWA)	202
7.12	Literaturangaben	202

8 Konditionierung von aufbereiteten Biogasen zur Einspeisung ins Erdgasnetz 209

8.1	Einleitung	209
8.2	Grundbegriffe und Regelwerk	210
8.2.1	DVGW-Arbeitsblatt G 260 und G 262	210
8.2.2	Die „Gasabrechnung“ nach Arbeitsblatt G 685 des DVGW-Regelwerkes	213
8.2.3	Das Arbeitsblatt G 486 „Gasmengenmessung, Realgasfaktoren und Kompressibilitätszahlen von Erdgasen, Berechnung und Anwendung“ des DVGW-Regelwerkes	214
8.2.4	Flüssiggas zur Konditionierung (Propan/Butan)	216

8.2.5	Aspekte des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) und der Gasnetz- zugangsverordnung (GasNZV)	216
8.3	Datenbasis	217
8.3.1	Daten der Grundgase.	218
8.3.2	Daten für aufbereitete Biogase.	219
8.3.3	Anforderungen an regelkonformes, aufbereitetes Biogas	219
8.4	Möglichkeiten zur Herstellung regelkonformer Gase	221
8.4.1	Zielbeschaffenheit: Nordsee I H-Gas	221
8.4.2	Zielbeschaffenheit: Weser Ems L-Gas.	224
8.4.3	Zielbeschaffenheit: Holland II L-Gas.	228
8.5	Kondensationslinien und Methanzahlen	231
8.6	Zusammenfassung.	233
8.6.1	Konditionierung: Ziel H-Gas	233
8.6.2	Konditionierung: Ziel L-Gas	236
8.7	Literatur	237

9 Einspeisung von Biogas in Netze der öffent- lichen Gasversorgung – Anlagentechnik 241

9.1	Einleitung	241
9.2	Allgemeine Anforderungen an die BGEA	241
9.3	Funktionale Anforderungen an BGEA	242
9.4	Absicherung gegen unzulässige Qualitätszustände	244
9.5	Anforderungen an Anlagen, Bauteile und Baugruppen	244
9.6	Bau und Ausrüstung	245
9.7	Prüfungen	255
9.8	Inbetriebnahme	256
9.9	Betrieb einer BGEA	256
9.10	Zusammenfassung.	262

10 Messtechnik und Abrechnung 263

10.1	Einleitung	263
10.2	Gesetzliche Anforderungen: „IST-Zustand“ für die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz	263
10.3	Lösungsansätze	265
10.4	Messung von Rohbiogas	269
10.5	Feldinstallationen.	271
10.6	Abrechnung	274
10.7	Ausblick.	274
10.8	Literatur	275

11	Messprogramme und betriebliche Erfahrungen	
	„Biogaserzeugung- und -aufbereitung“	277
11.1	Einleitung	277
11.2	Betriebliche Erfahrungen bei der Biogaserzeugung	277
11.2.1	Substrateinsatz und -lagerung	281
11.2.1.1	Einsatz landwirtschaftlicher Substrate	281
11.2.1.2	Einsatz von Rückständen und Abfällen	284
11.2.1.3	Biogaserträge und Kennzahlen	285
11.2.1.4	Substratmarkt	286
11.2.2	Substrataufbereitung und -einbringung in die Anlage	287
11.2.3	Gärrestverwertung	288
11.3	Monitoring von Einspeiseanlagen	290
11.3.1	Untersuchte Anlagen	291
11.3.2	Versuchsaufbau	292
11.3.3	Messtechnik und Messmethoden	294
11.3.4	Datenauswertung	297

11.3.5	Ergebnisse Rohbiogas	298
11.3.6	Ergebnisse Aufbereitetes Biogas.	303
11.3.7	Ergebnisse Schwachgas.	306
11.3.8	Methanemissionen der gesamten Prozesskette	309
11.3.9	Ergebnisse Mikrobiologie	310
11.4	Ausblick.	312
11.5	Literatur	312

12 Umwelteffekte der Biogasproduktion 315

12.1	Einleitung	315
12.2	Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeitsdiskussion.	316
12.3	Potentielle Umweltwirkungen der Energiepflanzenproduktion für die Biogaserzeugung	317
12.3.1	Bodenerosion.	317
12.3.2	Humusbilanz.	318
12.3.3	Pflanzenschutzmittel und Düngemittelleinsatz	318
12.3.4	Biodiversität	320
12.4	Potentielle Umweltwirkungen der Biogasproduktion – Fokus Biogasanlage	321
12.5	Methodik der THG-Bilanzierung und grundsätzlichen Annahmen	322
12.5.1	Substratbereitstellung.	325
12.5.2	Fermentation	326
12.5.3	Gärrest	328
12.5.4	Biogasnutzung im BHKW.	329
12.5.5	Zusammenführung der Ergebnisse aus der Beispielrechnung	331
12.5.6	Biogasaufbereitung, Einspeisung und Verstromung.	332
12.6	Literatur	335
12.7	Abkürzungen.	337

13 Energiepflanzenanbau und Gewässerschutz 339

13.1	Einleitung	339
13.2	Anbauflächen	339
13.3	Folgen für die Gewässer durch den Energiepflanzenanbau.	341
13.4	Inhaltsstoffe von Gärresten	346
13.4.1	Nährstoffe.	346
13.4.2	Schadstoffe.	347
13.4.2.1	Schwermetalle	347
13.4.2.2	Organische Schadstoffe	348
13.4.2.3	Hygienische Qualität der Gärreste	350

13.5	Ausbringung von Gärresten in der Landwirtschaft	351
13.5.1	Klassifizierung der Gärreste	351
13.5.2	Gütesiegel für Gärückstände	356
13.5.3	Aufbereitung von Gärresten	356
13.6	Forderungen für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau	359
13.7	Gefährdungspotenziale bei Biogasanlagen	360
13.8	Biogaseinspeisung	361
13.8.1	Verfahrenstechnik	362
13.8.2	Schwefel und Schwermetalle im Gärrest	363
13.9	Fazit	365
13.10	Literatur	366
Stichwortverzeichnis	371
Alphabetisches Firmenverzeichnis	379
Inserentenverzeichnis	383
CD bzw. DVD zum Buch	3. Umschlagseite