

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Potenziale in Deutschland und Europa</b>	<b>17</b>
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
<b>3</b>	<b>Recht der Biogaseinspeisung</b>	<b>41</b>
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 Roh- stoffen 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 Wirtschafts- düngern, 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
<b>6</b>	<b>Transport von Rohbiogas .....</b>	<b>119</b>
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	Korroderende 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
<b>7</b>	<b>Biogasaufbereitung .....</b>	<b>139</b>
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 <sub>2</sub> -Entfernung durch Druckwechseladsorption .....	163
7.6	CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> - und N <sub>2</sub> -Entfernung	186
7.9.1.2	Eignung der Druckwasserwäsche (DWW) zur O <sub>2</sub> - und N <sub>2</sub> -Entfernung..	187
7.9.1.3	Eignung der Monoethanolamin-Wäsche (MEA) zur O <sub>2</sub> - und N <sub>2</sub> -Entfernung.....	187
7.9.1.4	Weitere Verfahren zur Entfernung von O <sub>2</sub> .....	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 Biogas zur Einspeisung ins Erdgasnetz .....**

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 An- wendung“ 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 öffentlichen 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

<b>11</b>	<b>Messprogramme und betriebliche Erfahrungen</b>	
	<b>„Biogaserzeugung- und -aufbereitung“</b>	<b>277</b>
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 Düngemiteileinsatz .....	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 Gärrückstände .....	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

<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>371</b>
-----------------------------------	------------

<b>Alphabetisches Firmenverzeichnis .....</b>	<b>379</b>
---	------------

<b>Inserentenverzeichnis .....</b>	<b>383</b>
------------------------------------	------------

<b>CD bzw. DVD zum Buch .....</b>	<b>3. Umschlagseite</b>
-----------------------------------	-------------------------