

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Historischer Überblick.....	3
1.2	Politische Zielvorgaben.....	5
1.3	Stand der Biogasnutzung in Deutschland im Jahr 2012	8
1.4	Aufbereitetes Biogas als Kraftstoff.....	12
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	36
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.....	46
3.4	Netznutzung für den Transport von Biogas.....	48
3.4.1	Grundregelungen der Netznutzung bei Biogas	48
3.4.2	Einspeiseentgelt nach § 20a GasNEV	50
3.4.3	Kostenwälzung, § 20b GasNEV, § 7 KoV V	50
3.5	Handel mit Biogas – Nachweis der Biogaseigenschaft	51
3.5.1	Grundsätze der Vertragsgestaltung.....	51
3.5.2	Verwendung von Massenbilanzsystemen.....	53
3.5.3	Transportmodell und Zertifikatmodell.....	54

3.6	Vertragsstrukturen	55
3.7	Nutzungspfade bei der Gaseinspeisung	56
3.7.1	Biogas im Mobilitätssektor	57
3.7.2	Biogas im Wärmemarkt	58
3.7.3	Biogas in der KWK-Nutzung	58
3.8	Fazit	60
3.9	Literatur	60
4	Biogaseinspeisung – das technische Regelwerk.....	63
4.1	Literatur	81
5	Biogaserzeugung.....	83
5.1	Einleitung	83
5.2	Biologie des Biogasprozesses	84
5.2.1	Grundlagen	84
5.2.2	Prozessschritte der Biogaserzeugung	85
5.2.3	Eignung verschiedener Substrate zur Biogasgewinnung	88
5.3	Einflussgrößen auf den Biogasprozess	93
5.3.1	Prozesstemperatur	93
5.3.2	Schwefelwasserstoff	94
5.3.3	Ammoniumstickstoff	96
5.3.4	Makronährstoffe	97
5.3.5	Mikronährstoffe	98
5.4	Prozesskontrolle bei der Biogaserzeugung	99
5.4.1	Endproduktkontrolle	100
5.4.2	Zwischenproduktkontrolle	101
5.4.3	Milieukontrolle	102
5.5	Verfahrenstechnik der Biogaserzeugung	104
5.5.1	Einleitung	104
5.5.2	Verfahrenstechnik der Biogaserzeugung aus Abwässern	106
5.5.3	Biogaserzeugung aus Wirtschaftsdünger, nachwachsenden Rohstoffen und Abfallstoffen	109
5.5.4	Besonderheiten bei der Verwertung von biogenen Abfallstoffen	117
5.5.5	Planungsgrößen für den Bau von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	118
5.5.6	Massenbilanz und Dimensionierung der Funktionseinheiten einer Rohbiogas-Erzeugungsanlage	119
5.5.7	Zweiphasige Systeme zur Erzeugung von Biogas aus Wirtschaftsdüngern, nachwachsenden Rohstoffen und Abfallstoffen	122
5.5.8	Eigenstrombedarf von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	123
5.5.9	Eigenwärmeverbrauch von Biogasanlagen auf CSTR-Basis	126
5.6	Zusammenfassung	127
5.7	Literatur	128

6	Transport von Rohbiogas.....	133
6.1	Einleitung	133
6.2	Transportkonzepte für Rohbiogas.....	134
6.3	Korrosionsverhalten und Materialschädigungen.....	137
6.3.1	Korrosionsverhalten.....	137
6.3.2	Schädigungen durch Mikroorganismen	141
6.3.2.1	Biofilmbildung	141
6.3.2.2	Mikrobielle Korrosion.....	143
6.3.2.3	Korrodierende Organismen	145
6.3.2.4	Biofouling	145
6.4	Materialauswahl.....	146
6.5	Rohbiogasteilaufbereitung und Verdichtung vor dem Transport	147
6.5.1	Entschwefelung.....	147
6.5.2	Entfeuchtung	147
6.5.2.1	Trocknung und Verdichtung vor dem Transport.....	149
6.5.2.2	Abscheidung des Wassers während des Transports	150
6.6	Bestimmung des optimalen Biogasnutzungspfades	151
6.7	Gefahren beim Umgang mit Rohbiogas	154
6.8	Anzuwendendes Regelwerk für Transportleitungen von Rohbiogas.....	157
6.9	Literaturverzeichnis	158

7	Biogasaufbereitung	161
7.1	Einleitung	161
7.2	Anforderungen an die Gasaufbereitung	161
7.2.1	Regulatorische und technische Anforderungen	161
7.2.2	Prinzipieller Aufbau einer Gasaufbereitungsstrecke für Biogas	164
7.3	Verfahrenstechnische Grundlagen der Biogasaufbereitung	165
7.3.1	Adsorption	166
7.3.2	Absorption	169
7.3.2.1	Physikalische Wäschchen	172
7.3.2.2	Chemische Wäschchen	173
7.3.3	Permeation	174
7.3.4	Kryogenverfahren	177
7.4	Entschwefelungsverfahren	178
7.4.1	Biologische Entschwefelung	178
7.4.2	Biofilter	181
7.4.3	Chemische Entschwefelung – Adsorption und Fällung	182
7.4.4	Chemische Entschwefelung – (Fein-)Entschwefelung mit Aktivkohlen	183
7.4.5	Chemisch-biologische Entschwefelung	184
7.5	CO ₂ -Entfernung durch Druckwechseladsorption	185
7.6	CO ₂ -Entfernung mit Wäschchen	186
7.6.1	Chemische Wäschchen	191
7.7	CO ₂ -Abtrennung mit Membranen	198
7.8	Kryogene Biogasaufbereitung	201
7.9	Gastrocknung	202
7.10	Entfernung weiterer Störkomponenten aus dem Biogas	204
7.10.1	Sauerstoffentfernung	204
7.10.2	Entfernung von Siloxanen und Ammoniak	210
7.10.2.1	Siloxane	210
7.10.2.2	Ammoniak	211
7.10.3	Aufbereitung bei der Rückspeisung von Biogas in Netze höherer Druckstufen	212
7.11	Schwachgasbehandlung	214
7.12	Abschließende Bewertung	219
7.13	Literaturangaben	222
8	Konditionierung von aufbereiteten Biogasen zur Einspeisung ins Erdgasnetz	231
8.1	Einleitung	231
8.2	Grundbegriffe und Regelwerk	233
8.2.1	DVGW-Arbeitsblatt G 260 und G 262	233
8.2.2	Die „Gasabrechnung“ nach Arbeitsblatt G 685 [8-3] des DVGW-Regelwerkes	236

8.2.3	Das Arbeitsblatt G 486 „Gasmengenmessung, Realgasfaktoren und Kompressibilitätszahlen von Erdgasen, Berechnung und Anwendung“ des DVGW-Regelwerkes	237
8.2.4	Flüssiggas zur Konditionierung	238
8.2.5	Aspekte des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) und der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV)	239
8.3	Datenbasis	241
8.3.1	Daten der Grundgase	242
8.3.2	Daten für aufbereitete Biogase	242
8.3.3	Anforderungen an regelkonformes, aufbereitetes Biogas	243
8.4	Möglichkeiten zur Herstellung regelkonformer Gase	244
8.4.1	Zielbeschaffenheit: Nordsee I H-Gas	246
8.4.2	Zielbeschaffenheit: Weser Ems L-Gas	249
8.4.3	Zielbeschaffenheit: Holland II L-Gas	253
8.5	Kondensationslinien und Methanzahlen	257
8.6	Zusammenfassung	261
8.6.1	Konditionierung: Ziel H-Gas	262
8.6.2	Konditionierung: Ziel L-Gas	264
8.7	Literatur	266

9	Einspeisung von Biogas in Netze der öffentlichen Gasversorgung – Anlagentechnik	269
9.1	Einleitung	269
9.2	Allgemeine Anforderungen an die BGEA.....	270
9.3	Funktionale Anforderungen an BGEA	271
9.4	Absicherung gegen unzulässige Gasbeschaffenheiten	272
9.5	Anforderungen an Anlagen, Bauteile und Baugruppen	273
9.6	Bau und Ausrüstung	273
9.7	Prüfungen.....	284
9.8	Inbetriebnahme	285
9.9	Betrieb einer BGEA.....	285
9.10	Zusammenfassung.....	291
10	Messtechnik und Abrechnung	293
10.1	Einleitung	293
10.2	Gesetzliche Anforderungen für die Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz.....	294
10.3	Mengenmessung von Biomethan	295
10.4	Umwertung von Biomethan.....	295
10.5	Gasbeschaffenheitsmessung von Biomethan.....	296
10.6	Messung von Rohbiogas.....	305
10.7	Feldinstallationen	308
10.8	Abrechnung	310
10.9	Ausblick.....	310
10.10	Literatur.....	311
11	Messprogramme und Betriebserfahrungen „Biogaserzeugung und -aufbereitung“	313
11.1	Einleitung	313
11.2	Betriebliche Erfahrungen bei der Biogaserzeugung	313
11.2.1	Substrateinsatz- und Lagerung	317
11.2.1.1	Einsatz landwirtschaftlicher Substrate.....	317
11.2.1.2	Einsatz von Rückständen und Abfällen	319
11.2.1.3	Biogaserträge und Kennzahlen.....	320
11.2.1.4	Substratmarkt	320
11.2.2	Substrataufbereitung und -einbringung in die Anlage.....	322
11.2.3	Gärrestverwertung.....	323
11.2.4	Wärmenutzung.....	325
11.3	Monitoring von Einspeiseanlagen.....	326
11.3.1	Untersuchte Anlagen	326
11.3.2	Versuchsaufbau	328
11.3.3	Messtechnik und Messmethoden	332

11.3.4	Datenauswertung.....	335
11.3.5	Ergebnisse Rohbiogas.....	336
11.3.6	Ergebnisse aufbereitetes Biogas	346
11.3.7	Ergebnisse Schwachgas	352
11.4	Messung der Methanemission an der Biogasanlage Einbeck mittels CHARM®	355
11.4.1	Messtechnik und Vorgehensweise	356
11.4.1.1	CHARM Messprinzip	356
11.4.1.2	Fenceline Monitoring	357
11.4.1.3	Durchführung der Messflüge	358
11.4.1.4	Windmessung.....	360
11.4.2	Messergebnisse	362
11.4.3	Fazit Emissionsmessungen.....	365
11.5	Mikrobiologische Messungen an Biogaseinspeiseanlagen	365
11.6	Ausblick	367
11.7	Literatur.....	368

12	Umwelteffekte der Biogasproduktion	371
12.1	Einleitung	371
12.2	Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeitsdiskussion.....	372
12.3	Potentielle Umweltwirkungen der Energiepflanzenproduktion für die Biogaserzeugung	373
12.3.1	Bodenerosion.....	373
12.3.2	Humusbilanz	374
12.3.3	Pflanzenschutzmittel und Düngemitteleinsatz.....	374
12.3.4	Biodiversität.....	376
12.3.5	Potentielle Umweltwirkungen der Biogasproduktion – Fokus Biogasanlage	377
12.4	Methodik der THG-Bilanzierung und grundsätzliche Annahmen	378
12.4.1	Substratbereitstellung	381
12.4.2	Fermentation.....	382
12.4.3	Gärrest	385
12.4.4	Biogasnutzung im BHKW.....	386
12.4.5	Zusammenführung der Ergebnisse aus der Beispielrechnung.....	387
12.4.6	Biogasaufbereitung, Einspeisung und Verstromung.....	389
12.5	Literatur	392
12.6	Abkürzungen.....	394
13	Energiepflanzenbau und Gewässerschutz	395
13.1	Einleitung	395
13.2	Anbauflächen.....	396
13.3	Folgen für die Gewässer durch den Energiepflanzenanbau	397
13.4	Inhaltsstoffe von Gärresten.....	402
13.4.1	Nährstoffe.....	402
13.4.2	Schadstoffe	403
13.4.2.1	Schwermetalle	403
13.4.2.2	Organische Schadstoffe	404
13.4.2.3	Hygienische Qualität der Gärreste.....	406
13.5	Ausbringung von Gärresten in der Landwirtschaft.....	408
13.5.1	Klassifizierung der Gärreste	408
13.5.2	Gütesiegel für Gärückstände	412
13.5.3	Aufbereitung von Gärresten.....	413
13.6	Forderungen für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau	415
13.7	Gefährdungspotenziale bei Biogasanlagen.....	417
13.8	Biogaseinspeisung	418
13.8.1	Verfahrenstechnik	419
13.8.2	Schwefel und Schwermetalle im Gärrest	419
13.9	Fazit.....	421
13.10	Literatur	423

14	Innovative Biogasprozesse.....	429
14.1	Hintergrund	429
14.2	Neue Entwicklungen in der Biogaserzeugung	430
14.2.1	Druckfermentation.....	430
14.2.1.1	Hintergrund und Potenzial.....	430
14.2.1.2	Herausforderungen.....	432
14.2.1.3	Vorliegende Ergebnisse und Entwicklungsstand	433
14.2.2	Biologische Methanisierung	434
14.2.2.1	Hintergrund und Pozential.....	434
14.2.2.2	Herausforderungen	435
14.2.2.3	Vorliegende Ergebnisse und Entwicklungsstand	436
14.3	Neue Entwicklungen in der Biogasaufbereitung.....	436
14.3.1	Hintergründe und Potenziale.....	437
14.3.2	Herausforderungen.....	437
14.3.3	Vorliegende Ergebnisse und Entwicklungsstand	441

14.4	Biogasanlagen als CO ₂ -Quelle für PtG-Prozessketten im Rahmen integrierter Energieerzeugung	443
14.4.1	Hintergrund	443
14.4.2	Prozessschritte	444
14.4.3	Bewertung von Biogasanlagen als CO ₂ -Quellen	445
14.5	Literatur	448
	 Stichwortverzeichnis	453
	Alphabetisches Firmenverzeichnis	461
	Inserentenverzeichnis	465
	 Interaktives eBook	IV