

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Autorenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Gaswirtschaftliche Grundlagen	5
2.1 Rohstoff Erdgas	5
2.2 Geschichte	5
2.3 Rolle im Primärenergiemix	6
2.4 Marktmodelle	10
2.5 Erdgaslogistik	16
2.6 Erdgashandel und -vertrieb	21
3 Gesetze und Normen	25
3.1 Energiepolitik sowie Umwelt- und Klimaschutz prägen das Energierecht	25
3.1.1 Das Energiekonzept 2010 der Bundesregierung	25
3.1.2 EU-Energieunion	25
3.1.3 Exkurs UN-Weltklimakonferenz 2015 – Chancen für Erdgasinfra- strukturen	28
3.1.4 Entwicklung des EnWG	30
3.2 Rechtsgrundlagen	31
3.2.1 Energiewirtschaftsgesetz	31
3.2.1.1 Grundsätzliche Bedeutung	31
3.2.1.2 Aufbau und Gliederung	32
3.2.1.3 Wesentliche gaswirtschaftliche Normen	34
3.2.2 Anreizregulierungsverordnung	37
3.2.2.1 Grundsätzliche Bedeutung	37
3.2.2.2 Aufbau und Gliederung	38
3.2.3 Gasnetzzugangsverordnung	44
3.2.4 Gasnetzentgeltverordnung	45
3.2.5 Versorgungsbezogene Rechtsnormen	48
3.2.6 Bautechnikbezogene Rechtsnormen	49
3.3 Normen und Regelwerke für das Gasfach	51
3.3.1 Normen, technische Regeln und Gesetze	51
3.3.2 Allgemeine Grundsätze der Normung und technischen Regelsetzung ..	53
3.3.3 Organisation der Normung	54
3.3.3.1 Überblick über die Normungsorganisationen und die Normungsarbeit .	54
3.3.3.2 Kooperation zwischen den europäischen und internationalen Normungsorganisationen CEN und ISO	56
3.3.3.3 Nationale Umsetzung von CEN- und ISO-Normen	56

3.3.4	Normung für Deutschland und Mitarbeit in CEN und ISO	57
3.3.4.1	Rolle des Deutschen Instituts für Normung (DIN e.V.)	57
3.3.4.2	Externer DIN-Normenausschuss Gastechnik – DIN NAGas	58
3.3.4.3	Anwendung und Rechtsverbindlichkeit von Normen	59
3.3.5	Technische Regelsetzung für das Gasfach im DVGW	60
3.3.5.1	Relevanz und Verbindlichkeit der DVGW-Regelsetzung für das Gasfach	60
3.3.5.2	Bündelung der relevanten gastechnischen Regeln und Normen im DVGW-Regelwerk	63
3.3.6	Weitere Regelsetzung für das Gasfach	68
3.3.6.1	Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)	68
3.3.6.2	Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)	68
3.3.6.3	Regelwerk der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)	69
3.3.6.4	Abgrenzung zur Technischen Regel für Rohrfernleitungsanlagen (TRFL)	70
3.4	Elemente der technischen Selbstverwaltung	71
3.4.1	Ordnungsrechtlicher Rahmen	71
3.4.2	Systemsicherheit durch DVGW-Regelwerk	72
3.4.3	Netz- und Anlagensicherheit durch qualifizierte prüftechnische Abnahme und Einsatz der DVGW-Sachverständigen und DVGW-Sachkundigen	72
3.4.4	Erhöhung der technischen Sicherheit durch Bestands- und Ereignisdatenerfassung sowie Analyse der Ereignisse	74
3.4.5	Organisationssicherheit durch technisches Sicherheitsmanagement (TSM)	79
4	HSEQ – Gesundheitsschutz, Arbeitssicherheit, Umwelt, Qualität	83
4.1	Managementsysteme	83
4.1.1	Definition, Zielsetzung, Nutzen	83
4.1.2	Integrierte Managementsysteme	84
4.1.3	Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagement	86
4.1.4	Umweltschutzmanagement	87
4.1.5	Sicherheits- und Integritätsmanagement	88
4.1.5.1	Technisches Sicherheitsmanagement (TSM / DVGW-Arbeitsblatt G 1000)	89
4.1.5.2	Sicherheitsmanagement (SMS) / Pipeline-Integritätsmanagement (PIMS)	90
4.1.6	Assetmanagement	92
4.1.7	Risikomanagement	94
4.1.8	IT-Sicherheitsmanagement	94
4.2	Arbeits- und Gesundheitsschutz	95
4.2.1	Allgemeines	95
4.2.2	Gefährdungsbeurteilungen	96
4.2.3	Arbeits- und Gesundheitsschutz in der Gasversorgung	98
4.2.3.1	Arbeiten an Gasleitungen	98
4.2.3.2	Baustellen, Koordinierungspflichten	99

4.2.3.3	Kontaminierte Böden	100
4.2.3.4	Gefahrstoffe	100
4.2.3.5	Asbest/KMF	101
4.2.3.6	Betriebssicherheitsverordnung	102
4.2.3.7	Arbeitsmittel	102
4.2.3.8	Explosionsschutz	103
4.2.3.9	Druckbehälter	104
4.3	Umwelt	104
4.3.1	Allgemeines	104
4.3.2	Rechtlicher Rahmen	105
4.3.3	Umweltaspekte auf gastechnischen Anlagen	106
4.3.3.1	Kondensat	106
4.3.3.2	Stäube, Feststoffe	107
4.3.3.3	Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS-Anlagen)	107
4.3.3.4	Emissionen, Emissionshandel	108
4.3.3.5	Wasserkreisläufe von Heizungsanlagen	109
4.3.3.6	Lärm	109
4.3.3.7	Erdgastrocknung/Glykol	109
5	Von der Quelle zum Verbraucher	113
5.1	Vorkommen und Reichweiten	113
5.1.1	Gasreserven und -ressourcen	114
5.1.2	Primärenergiebedarf	116
5.1.3	Verbleibende Nutzungsdauer	118
5.2	Gewinnung und Aufbereitung	120
5.2.1	Geophysikalische Grundlagen	122
5.2.2	Konventionelle Gewinnung	123
5.2.3	Unkonventionelle Gewinnung	128
5.2.4	Aufbereitung und Konditionierung	130
5.3	Erdgasströme	131
5.3.1	Pipelinegas vs. LNG	131
5.3.2	Globale Erdgasströme	138
5.3.3	Erdgasströme in Europa	140
5.3.4	Erdgasströme in Deutschland	142
5.4	Erdgas im Energiemarkt	144
5.4.1	Handel	144
5.4.2	Börsen- und Verbraucherpreise	146
5.4.3	Anwendungssektoren	149
5.5	Gasbeschaffenheiten	151
5.5.1	Erdgase: Zusammensetzungen, physikalische und chemische Eigenschaften	152
5.5.1.1	Zusammensetzungen, Wobbeindex, Heiz-/Brennwert, Dichte	152

5.5.1.2	Methanzahl	160
5.5.1.3	Realgasfaktoren, Kompressibilitätszahl	160
5.5.1.4	Joule-Thomson-Koeffizienten	161
5.5.1.5	Kondensation höherer Kohlenwasserstoffe	162
5.5.1.6	Wassergehalt	167
5.5.1.7	Sauerstoff	169
5.5.1.8	Schwefelverbindungen	170
5.5.1.9	Wasserstoff	172
5.5.1.10	Beschaffenheitsvariationen	175
5.5.1.11	Gasbeschaffenheitsmesssysteme	179
5.5.1.11.1	Optische Gasbeschaffenheitsmessgeräte	186
5.5.1.11.2	Ionisationsstrommessung	188
5.5.1.11.3	Flammenlumineszenzmessungen	189
5.5.1.11.4	O ₂ -Regelung	191
5.5.1.12	Umstellung des Marktraumes von L-Gas auf H-Gas	192
5.5.1.13	H-Gas-Harmonisierung	199
5.6	Konditionierung	204
5.7	Erdgasanwendungen	206
5.7.1	Industrieanwendungen	207
5.7.2	Stoffliche Nutzung	211
5.7.2.1	Prozess der Endogaserzeugung	213
5.7.3	Häusliche Gasanwendungen	214
6	Netzplanung	251
6.1	Physikalische Grundlagen des Transports und der Verteilung von Erdgas in Rohrleitungen	251
6.1.1	Einführung	251
6.1.2	Zustandsgleichungen für ideale und reale Gase	252
6.1.3	Allgemeine Erhaltungssätze bei Rohrströmungen	262
6.1.4	Reale Strömungsvorgänge (Viskosität, Reynoldszahl)	264
6.1.5	Laminare Strömung	268
6.1.6	Turbulente Strömung	271
6.1.7	Der Darcy-Weisbach-Ansatz zur Beschreibung des Druckabfalls bei turbulenten Rohrströmungen	272
6.1.8	Rohrreibungszahl	274
6.1.9	Fortleitungsformeln für turbulente Strömungen	279
6.1.10	Fortleitung von Hochdruckgasen für waagrecht verlegte Leitungen ..	282
6.1.11	Fortleitung von Hochdruckgasen unter Berücksichtigung der geodätischen Höhe	286
6.2	Berechnung vermaschter Netze auf Basis der Kirchhoff'schen Knotenregel	290
6.2.1	Einleitung	290
6.2.2	Akronyme	290

6.2.3	Allgemeine Vorbemerkungen	291
6.2.4	Allgemeine Vorgehensweise bei der Berechnung eines Netzes auf Basis der Kirchhoff'schen Knotenregel (Newton-Raphson-Verfahren) ..	296
6.2.5	Rechenbeispiel: Berechnung eines Hochdrucknetzes mit zwei Maschen und fünf Leitungsabschnitten nach der Knotenregel ...	299
6.2.6	Die Auflösung des linearen Gleichungssystems	309
6.2.7	Diskussion	310
6.3	Planung der Netzbelastung	311
6.3.1	Gesetzmäßigkeiten des Gasabsatzes	311
6.3.2	Temperaturabhängigkeit des Gasabsatzes – Regressionsgerade	312
6.3.3	Heizgas	313
6.3.4	Zusammenhang zwischen Heizgasabsatz und Belastungsspitze	314
6.3.5	Tagesgewichte	317
6.3.6	Bestimmung des Heizgasanteils, der Winterspitze, der Benutzungstagezahl und des Lastfaktors	321
6.3.7	Benutzungsstundenzahl pro Tag – Stundenleistung	325
6.3.8	Anwendungsbeispiel: Strukturanalyse des Erdgasabsatzes in Deutschland (Absatzstruktur von 2013)	328
6.4	Praxis der Netzplanung im aktuellen rechtlichen Rahmen	332
6.4.1	Simulations- und Optimierungsprogramme	333
6.4.2	Entry-Exit-Modell und freie Zuordenbarkeit	334
6.4.3	Marktgebiete und Handlungspunkte	337
6.4.4	Spezielle Kapazitätsprodukte	341
6.4.5	Kapazitätsermittlung	345
6.4.6	Netzentwicklungsplanung	351
6.4.7	Auswirkungen der L-H-Gas-Umstellung	353
6.4.8	Online-Simulation und Rekonstruktion (ReKo)	355
7	Netzsteuerung	367
7.1	Prozessdatenverarbeitung	367
7.1.1	Prozesssteuerung auf der Stationsebene	368
7.1.2	Fernwirktechnik	370
7.1.3	Aufbau von SCADA-Systemen	372
7.1.4	Datenmanagement im SCADA-System	374
7.1.5	Aufgaben der SCADA-Systeme	376
7.2	Transportdispatching und Disposition	380
7.2.1	Netzüberwachung	380
7.2.1.1	Ausstattung und Anforderung an eine Leitwarte	380
7.2.1.2	Zentrale Meldestelle	381
7.2.2	Netzsteuerung	382
7.2.2.1	Gastransportmanagement	383
7.2.2.2	Maßnahmenplanung	386
7.2.2.3	Krisenmanagement	386

8	Gastransportleitungen	391
8.1	Planung von Gashochdruckleitungen	391
8.1.1	Grundlagen des Projektmanagements	391
8.1.1.1	Sicherheit	392
8.1.1.2	Termine	393
8.1.1.3	Kosten	394
8.1.1.4	Qualität	395
8.1.2	Projektgenehmigungen	397
8.1.2.1	Interne Genehmigungen	397
8.1.2.2	Externe Genehmigungen	397
8.1.2.2.1	Raumordnungsverfahren	397
8.1.2.2.2	Plangenehmigungs- und Planfeststellungsverfahren	398
8.1.2.2.3	Wegerechtserwerb	401
8.1.2.2.4	Kreuzungs- und sonstige öffentliche Genehmigungen	401
8.1.3	Planung und Konstruktion	402
8.2	Bau von Gashochdruckleitungen	403
8.2.1	Die Baustelle als Linienbauwerk	403

8.2.2	Sicherheit beim Bau	404
8.2.3	Baustellenorganisation	404
8.2.4	Besonderheiten einer Leitungsbaustelle	405
8.2.5	Sonderbauwerke	406
8.2.5.1	Kreuzungsverfahren in grabenloser Bauweise	406
8.2.5.1.1	Ungesteuerte Vortriebsverfahren	407
8.2.5.1.2	Gesteuerte Vortriebsverfahren	408
8.2.5.2	Prinzipielle Gestaltung von Kreuzungsbauwerken	411
8.2.5.2.1	Produktenrohrkreuzungen	411
8.2.5.2.2	Mantelrohrkreuzungen	412
8.2.5.3	Kreuzung von Straßen und Schienenwegen	413
8.2.5.3.1	Kreuzung von Schienenwegen (Fahrbahnen) der Deutschen Bahn AG und ihrer Tochtergesellschaften (DB)	413
8.2.5.3.2	Kreuzung von Fernstraßen	415
8.2.5.3.3	Kreuzung von Bundeswasserstraßen	416
8.2.5.4	Kreuzungen von Gewässern und größeren Natur- oder Landschaftsschutzgebieten	417
8.2.5.5	Leitungen an und in Brücken	418
8.2.5.6	Maßnahmen für Leitungen in setzungs- und/bzw. auftriebsgefährdeten Gebieten	419
8.2.5.6.1	Setzungs- und auftriebsgefährdete Leitungen in Feuchtgebieten	420
8.2.5.6.2	Setzungsgefährdete Leitungen in Bergbaugebieten	420
8.2.5.6.3	Leistungsbeanspruchungen durch Aufschüttungen	423
8.2.5.7	Leitungen in Steilhängen	423
8.2.6	Druckprüfung	425
8.2.7	Inbetriebnahme	426
8.2.8	Abschluss der Baumaßnahme	426
8.3	Betrieb von Gashochdruckleitungen	427
8.3.1	Organisation des Betriebes	428
8.3.2	Abnahme, Übernahme und Inbetriebnahme	429
8.3.3	Instandhaltung	431
8.3.3.1	Inspektion und Wartung	431
8.3.3.2	Baumaßnahmen im Bereich von Gashochdruckleitungen	436
8.3.3.3	Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gashochdruckleitungen	440
9	Gasverteilung	447
9.1	Historische Entwicklung der Gasverteilung	447
9.2	Rechtsrahmen	448
9.3	Aufbau und Funktionsweise von Gasverteilernetzen	449
9.4	Planung und Bau von Gasverteilernetzen	450
9.4.1	Zielnetzplanung von Gasverteilernetzen	453
9.4.2	Planung, Konstruktion und Bauausführung von Gasverteilungsleitungen	456

9.4.3	Gasleitungen bis 10 bar Betriebsdruck aus Polyethylen	461
9.4.3.1	Planung und technische Auslegung	462
9.4.3.2	Bauausführung	462
9.4.4	Gasleitungen aus Stahlrohren bis 16 bar	473
9.4.5	Sonderbauverfahren	478
9.4.6	Netzanschlüsse	479
9.4.6.1	Dimensionierung von Netzanschlüssen	479
9.4.6.2	Konstruktion, Bauteile und Bauausführung von Netzanschlüssen	479
9.5	Betrieb und Instandhaltung von Gasverteilernetzen	490
9.5.1	Organisation des Betriebes	490
9.5.2	Instandhaltung	491
9.5.2.1	Inspektion und Wartung	491
9.5.3	Instandsetzung	499
9.5.4	Entstörungsdienst	503
9.6	Asset-, Integritäts- und Qualitätsmanagement	505
10	Verdichterstationen	509
10.1	Design	509
10.1.1	Aufgaben von Verdichterstationen	509
10.1.1.1	Transportverdichterstationen	509
10.1.1.2	Verdichter in Erdgasuntertagespeicher	509
10.1.1.3	Verdichter in Bioerdgasanlagen	510
10.1.2	Bauarten von Verdichtern der Gasversorgung	510
10.1.2.1	Turboverdichter	510
10.1.2.2	Kolbenverdichter	514
10.1.2.3	Qualitativer Vergleich von Turboverdichter und Kolbenverdichter	517
10.1.3	Antriebe	517
10.1.3.1	Gasturbinen	517
10.1.3.2	Elektromotore	520
10.1.3.2.1	Konventionelle Elektromotore	520
10.1.3.2.2	Elektromotore als Schnellläufer	520
10.1.3.3	Gasmotore	521
10.1.3.4	Quantitativer Vergleich von Gasturbine und Elektromotor	521
10.1.4	Anlagenteile einer Verdichterstation	522
10.1.4.1	Typische Anlagenkomponenten	522
10.1.4.2	Filterseparatoren	522
10.1.4.3	Gasmengen- und Gasqualitätsmessung	522
10.1.4.4	Gasluftkühler	523
10.1.4.5	Rohrleitungen	525
10.1.4.6	Armaturen	526
10.1.4.7	Nebensysteme	527
10.1.4.7.1	Sperrgassystem (Turboverdichter)	527
10.1.4.7.2	Schmierölsystem	528

10.1.4.7.3	Kühlwassersystem	528
10.1.5	Aufstellungsplanung	529
10.1.5.1	Verdichterstation	529
10.1.5.2	Verdichterhalle	530
10.2	Planung und Genehmigung	531
10.2.1	Auswahlstudien für Verdichter und Antriebe	531
10.2.2	Entwurfs- und Ausführungsplanung	532
10.2.3	Abwicklung des Verdichterpakets	532
10.2.4	HAZOP	533
10.2.5	Genehmigungsverfahren	533
10.2.5.1	Transportverdichterstationen	533
10.2.5.2	Erdgasuntertagespeicherung	533
10.2.5.3	Verfahren nach dem BImSchG	534
10.3	Errichtung und Inbetriebnahme	534
10.3.1	Errichtung	534
10.3.1.1	Typischer zeitlicher Ablauf	534
10.3.1.2	Mechanische Fertigstellung	535
10.3.2	Inbetriebnahme	536
10.3.2.1	Vorbereiten der Inbetriebnahme	536
10.3.2.2	Inbetriebnahme	536
10.3.2.3	Probetrieb und Leistungsnachweise	537
10.3.2.4	Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebs	538
10.4	Betrieb	538
10.4.1	Betriebsarten von Maschineneinheiten	538
10.4.1.1	Automatischer ferngesteuerter Betrieb	539
10.4.1.2	Automatischer lokaler Betrieb	539
10.4.1.3	Manueller lokaler Betrieb (Schritt-für-Schritt-Steuerung)	539
10.4.1.4	Betriebsbereitschaft (Aus)	540
10.4.2	An- und Abfahrvorgänge von Maschineneinheiten	540
10.4.2.1	Anfahren	540
10.4.2.2	Normales Abfahren	542
10.4.2.3	Not- oder Schnellabschaltung	542
10.4.3	Instandhaltung von Maschinen und Anlagen	543
10.4.3.1	Wartung und Inspektionen	544
10.4.3.2	Instandsetzung	545
11	Gasdruckregel- und -messanlagen	547
11.1	Begriffe, Bezeichnungen	547
11.2	Grundlagen der Konstruktion	547
11.2.1	Druckstufentrennung	549
11.2.2	Einschienige und zweischienige Anlagen	549
11.2.3	Druckstaffelung von GDRM-Anlagen	549
11.2.4	Einstufige und zweistufige Anlagen	551

11.2.5	Umgangsleitungen	551
11.3	Verfahrenstechnische Berechnung	551
11.4	Bauelemente	553
11.4.1	Werkstoffe	553
11.4.2	Gasdruckregelgeräte	553
11.4.2.1	Technische Beschreibung	553
11.4.2.2	Leistungskennzahlen von Gasdruckregelgeräten	555
11.4.2.3	FTO-Geräte	556
11.4.2.4	FTC-Geräte	557
11.4.2.5	Monitorregler	557
11.4.2.6	Integrale und differenzielle Vordruckfestigkeit	558
11.4.2.7	Werksgeprüfte und erstgeeichte Gasdruckregelgeräte	558
11.4.3	Sicherheitseinrichtungen	559
11.4.3.1	Sicherheitsabsperrventile	561
11.4.3.2	Sicherheitsabsperrarmaturen	562
11.4.3.3	Sicherheitsabblaseventile	564
11.4.4	Gasfilter und Abscheider	564
11.4.4.1	Zellengasfilter	564

11.4.4.2	Patronenfilter	566
11.4.4.3	Mattenfilter	567
11.4.4.4	Zyklonabscheider	567
11.4.4.5	Flüssigkeitsabscheider	567
11.4.5	Erdgasvorwärmer	568
11.4.5.1	Berechnung des Wärmebedarfs für die Vorwärmung	568
11.4.5.2	Gasaustrittstemperaturen von Vorwärmanlagen	569
11.4.5.3	Wärmeerzeuger für die Vorwärmung	570
11.4.5.4	Absicherung von Wärmeträgerkreisläufen	571
11.4.6	Heater	573
11.4.7	Odorieranlagen	573
11.4.7.1	Odoriermittel	574
11.4.7.2	Odoriervverfahren	575
11.4.8	Schalldämpfer/Pulsationsdämpfer	576
11.4.9	Rohrleitungen und Formteile	578
11.4.10	Armaturen	579
11.4.10.1	Schieber	580
11.4.10.2	Kugelhähne	580
11.4.10.3	Klappen	580
11.4.11	Flansche und Dichtungen	580
11.4.12	Funktionsleitungen	581
11.4.13	Isoliertrennstellen	582
11.4.14	Sonstige Bauelemente	582
11.5	Aufstellung einer Gasdruckregel- und -messenanlage	582
11.5.1	Gebäude	583
11.5.1.1	Bautechnische Anforderungen	583
11.5.1.2	Blitzschutz	583
11.5.1.3	Elektroinstallation	583
11.5.1.4	Kennzeichnung	584
11.5.2	Standardanlagen	584
11.5.3	Mobile GDRM-Anlagen	584
11.6	Explosionsschutz	587
11.6.1	Explosionsschutzzonen	587
11.6.2	Explosionsschutzdokument	587
11.6.3	Explosionsgefährdete Bereiche	587
11.7	Planung, Herstellung und Inbetriebnahme	588
11.7.1	Unternehmensqualifizierung	588
11.7.1.1	Unternehmensqualifizierung der Netzbetreiber	589
11.7.1.2	Schweißtechnik	589
11.7.1.3	Werkstoffnachweise	589
11.7.2	Prüfungen im Rahmen der Herstellung	589
11.7.2.1	Festigkeits- und Dichtheitsprüfung	589
11.7.2.2	Schweißnahtprüfung	590

11.7.3	Abnahmeprüfungen	590
11.7.3.1	Abnahmeprüfung von Druckbehältern	592
11.7.3.2	Abnahme nach Verordnung über Gashochdruckleitungen GasHDrLtgV	592
11.8	Betrieb und Instandhaltung	592
11.8.1	Fristgesteuerte Instandhaltung	593
11.8.2	Zustandsorientierte Instandhaltung	594
11.8.3	Instandhaltung von Druckbehältern	595
11.8.4	Instandhaltung von Odorieranlagen	596
11.8.5	Sonstige wiederkehrende Prüfungen	596
11.8.5.1	Gebäude	596
11.8.5.2	Elektrische Betriebsmittel in nicht explosionsgefährdeten Bereichen ..	596
11.8.5.3	Elektrische Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen	596
11.8.5.4	Explosionsschutz	596
11.8.5.5	Hilfseinrichtungen/Kräne/Gaswarnanlagen	597
11.9	Kosteneinsparpotentiale bei Bau- und Betrieb von GDRM-Anlagen ...	597
12	Gasmessung und Gasabrechnung	599
12.1	Grundprinzipien der Gasmessung und -abrechnung	599
12.2	Einteilung der Gaszähler	601
12.2.1	Balgengaszähler	602
12.2.2	Drehkolbengaszähler	604
12.2.3	Turbinenradgaszähler	606
12.2.4	Wirbelgaszähler	607
12.2.5	Ultraschallgaszähler	608
12.2.6	Wirkdruckgaszähler	609
12.2.7	Elektronische Gaszähler	610
12.2.8	Coriolis-Gaszähler	612
12.3	Methoden zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit	612
12.3.1	Einleitung	612
12.3.2	Verbrennungskalorimeter	614
12.3.3	Prozessgaschromatographie	615
12.3.3.1	Aufbau eines Gaschromatographen	616
12.3.3.2	Der chromatographische Trennprozess	618
12.3.3.3	Säulenschaltungstechniken (Multidimensionale Gaschromatographie) ..	623
12.3.3.4	Prozessgaschromatograph (PGC)	627
12.3.3.5	Ausführungsbeispiele	629
13	Gasspeicher	633
13.1	Bedeutung der Gasspeicher im Gasmarkt	633
13.2	Untergundspeichertypen	638
13.2.1	Porenspeicher	638
13.2.2	Hohlraumsspeicher	639
13.3	Genehmigungsverfahren	640
13.4	Erkundung geeigneter Speicherstandorte	641

13.5	Komponenten von Erdgasspeicheranlagen	641
13.5.1	Untertägige Ausrüstungen – Bohrungen	641
13.5.1.1	Einleitung	641
13.5.1.1.1	Aquiferbohrungen	642
13.5.1.1.2	Kavernenbohrungen	643
13.5.2	Verrohrungen	644
13.5.2.1	Einleitung	644
13.5.2.1.1	Definition und Aufgaben der einzelnen Futterrohrturen	645
13.5.3	Obertageanlagen	646
13.5.3.1	Verdichter	647
13.5.3.2	Trocknungsanlagen	648
13.5.3.3	Gashydrate	648
13.5.3.4	Trocknungsverfahren	649
13.5.3.5	Mess- und Regelanlagen	651
13.5.3.6	Gasaufbereitung	651
13.5.3.7	Automatisierung	652
13.6	Untertägige Speichererrichtung	652
13.6.1	Aquiferspeichererrichtung	653
13.6.2	Speichererrichtung in Kohlenwasserstofflagerstätten	653
13.6.3	Errichtung von Salzkavernen	654
13.7	Betrieb der Untergrundspeicher	656
14	Biogasanlagen	659
14.1	Design	659
14.1.1	Vorbemerkung/Begriffe	659
14.1.2	Einführung zum Treibhauseffekt	660
14.1.3	Einsatzfelder und Potenziale von Biogas	661
14.1.4	Biogaserzeugung	663
14.1.5	Biogasanlage (BGA)	665
14.1.6	Biogasaufbereitungsanlage (BGAA)	667
14.1.7	Biogas-Konditionierungs- und Einspeiseanlage (BGKA, BGEA)	669
14.2	Planung/Genehmigung	670
14.2.1	Allgemeines	670
14.2.2	Standortwahl	670
14.2.3	Anlagenplanung und Auftragsvergabe	673
14.2.4	Planung des Gasnetzanschlusses	674
14.3	Bau	675
14.3.1	Bauphase	675
14.3.2	Inbetriebnahme	676
14.4	Betrieb	678
14.4.1	Allgemeines	678
14.4.2	Organisation	678
14.4.3	Anlagenbetrieb	679

14.4.4	Stilllegung	680
14.4.5	Wirtschaftliche Aspekte des Anlagenbetriebs	680
14.4.6	Anlagensicherheit	681
14.4.7	Nachhaltige Umweltwirkung	682
15	Die Rolle von Power-to-Gas bei der Energiewende – technologische und ökonomische Bewertung	685
15.1	Einleitung	685
15.2	Überblick Elektrolyse	685
15.2.1	Thermodynamische Grundlagen	686
15.2.2	Alkalische Elektrolyse (AEC)	689
15.2.3	PEM-Elektrolyse (PEMEC)	690
15.2.4	Hochtemperatur-Elektrolyse (SOEC)	691
15.2.5	Vergleich der Elektrolyse-Technologien	693
15.3	Überblick Methanisierungsverfahren	693
15.3.1	Biologische Methanisierung	695
15.3.2	Katalytische Methanisierung	696
15.3.3	Vergleich biologische und katalytische Methanisierung	697
15.4	DVGW-Forschungsaktivitäten in Bereich Power-to-Gas	700
15.5	Pilot- und Demonstrationsprojekte	703
15.6	Mikro- und makroökonomische Bewertung	705
15.7	Zukunftskonzepte auf Basis der Hochtemperaturelektrolyse	709
16	Korrosionsschutz	715
16.1	Grundlagen der Korrosion und des Korrosionsschutzes	715
16.1.1	Korrosion als elektrochemische Reaktion	715
16.1.2	Passiver Korrosionsschutz	721
16.1.3	Kathodischer Korrosionsschutz	722
16.1.3.1	Elektrochemische Grundlagen und Bewertungskriterien	722
16.1.3.2	Kathodische Schutzströme in Fehlstellen und Spannungstrichter	723
16.1.3.3	Anmerkung zur Wasserstoffversprödung von Rohrleitungsstählen	723
16.1.4	Wechselstromkorrosion	724
16.1.5	Streustrombeeinflussung	726
16.1.6	Messtechnik	726
16.1.7	Technische Normen und technische Arbeitsblätter	728
16.2	Planung des kathodischen Korrosionsschutzes	730
16.2.1	Passiver Korrosionsschutz für oberirdische und erdverlegte Anlagen ..	730
16.2.1.1	Passiver Korrosionsschutz für oberirdische Anlagen	730
16.2.1.2	Passiver Korrosionsschutz für erdverlegte Rohrleitungen, Formstücke und Armaturen	731
16.2.2	Kathodischer Korrosionsschutz für erdverlegte Rohrleitungen	731
16.2.3	Kathodischer Korrosionsschutz für erdverlegte Rohrleitungen in komplexen Anlagen	732

16.3	Bau und Einrichtung des kathodischen Korrosionsschutzes	734
16.3.1	Qualitätssicherung	734
16.3.2	Bau von Anodenanlagen	734
16.3.3	Gleichrichter	736
16.3.4	Messstellen	736
16.4	Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes	737
16.4.1	Inbetriebnahme	737
16.4.2	Betrieb	738
16.4.3	Instandhaltung	738
16.5	Hochspannungsbeeinflussung	741
16.5.1	Beeinflussung von Rohrleitungen durch Hochspannungsanlagen und Berührungsschutz	741
16.5.2	Abgrenzeinheiten für den Anschluss von Erdern	741
16.6	Spezielle Themen des kathodischen Korrosionsschutzes	743
16.6.1	Messung der Korrosionsgeschwindigkeit	743
16.6.2	Vorgehensweise bei Rohrtrennungen	744
16.6.3	Dokumentation von Korrosionsschäden	746
17	Dokumentation und Leitungsauskunft	749
17.1	Normen und technische Regeln	749
17.2	Datenerfassungstechniken	751
17.2.1	Örtliche Einmessung	751
17.2.2	Benutzung von Feldrechnern	752
17.2.3	Photogrammetrische Aufnahme	753
17.2.4	Satellitengestützte Verfahren	753
17.2.5	Terrestrisches Laserscanning	754
17.2.6	Digitalisierung	754
17.2.7	Scannen analoger Vorlagen	755
17.2.8	Erfassung von Technischen Sachdaten	756
17.3	Digitale Netzinformationen und Planwerke	756
17.3.1	Geobasisdaten in der Netzdokumentation	756
17.3.2	Bestandspläne über das Gasverteilnetz	757
17.3.3	Übersichtspläne über das Gasverteilnetz	758
17.3.4	Planwerke der Fernleitungsbetreiber	759
17.3.5	Datenpflege in Netzinformationssystemen	760
17.4	Planauskunft/Netzauskunft	761
17.4.1	Methoden der Planauskunft/Netzauskunft	762
17.4.1.1	Analoge Papiaerausgabe	762
17.4.1.2	Digitale Abgabe per E-Mail	763
17.4.1.3	Digitale Ausgabe auf Datenträgern	763
17.4.1.4	Internet Bauauskunft	764
17.5	Datenqualität in der Netzdokumentation	764

17.6	Mobiles Arbeiten mit Netzdaten	767
17.7	Systemintegration mit Netzinformationssystemen	768
17.8	NIS-gestützte Datenanalyse	771
17.9	Schlussbemerkungen zur Dokumentation	772
Stichwortverzeichnis		777
Inserentenverzeichnis		802