

Dipl.-Ing. Matthias Bank

Basiswissen Umweltechnik

Wasser, Luft, Abfall, Lärm und Umweltrecht

4., komplett neu bearbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Einleitung	35
Teil 1: Wasserver- und -entsorgung	39
1 Wasserkreislauf und -verbrauch	41
1.1 Natürlicher Wasserkreislauf und anthropogene Beeinflussung	41
1.2 Wasserbedarf und -verbrauch	43
1.3 Problemverlagerungen und Schadstoffkreisläufe	45
2 Wasserversorgung und Trinkwassergewinnung	47
2.1 Anforderungen an die Trinkwasserqualität (TrinkwV)	47
2.2 Trinkwassergewinnung	50
2.2.1 Grundwasserbilanz	51
2.2.2 Uferfiltrat	53
2.2.3 Künstliche Grundwasseranreicherung	54
2.2.4 Wasserschutzgebiete	55
3 Aufbereitung zu Trinkwasser	57
3.1 Konventionelle Aufbereitung von Grundwasser	57
3.1.1 Gasaustausch	57
3.1.2 Enteisung und Entmanganung	59
3.1.2.1 Enteisung	60
3.1.2.2 Entmanganung	61
3.1.2.3 Zusammenfassung	62
3.2 Filtration	62
3.2.1 Grundgrößen	63
3.2.2 Einflußgrößen auf den Energieaufwand	63
3.2.3 Filterrückspülung	66
3.2.4 Ausführungsformen	68
3.3 Weitergehende Aufbereitung von Oberflächenwasser	69
3.3.1 Beispiel: Donauwasseraufbereitung	70
3.4 Nitrat im Trinkwasser	73
3.4.1 Maßnahmen zur Nitratreduktion	74
3.4.2 Biologische Denitrifikation	74
3.4.3 Katalytische Verfahren	75
3.4.4 Chemisch-physikalische Verfahren	76
3.5 Desinfektion von Trinkwasser	77
3.5.1 Biologische Verfahren	78
3.5.2 Chemische Verfahren	78
3.5.2.1 Chlorungsverfahren	78
3.5.2.2 Ozonisierung	80
3.5.3 Physikalische Verfahren – UV-Bestrahlung	80
4 Aufbereitung von Trinkwasser	83
4.1 Härte des Wassers	83
4.2 Kohlendioxid im Wasser	84

4.3	Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	84
4.4	Wasseraufbereitung	85
4.4.1	Filtration	85
4.4.2	Rieselentgaser	85
4.4.3	Entsäuerungs«filter»	85
4.4.4	Korrosionsinhibitoren	86
4.4.5	Enthärtung	86
4.4.5.1	Das Problem der Verkalkung	86
4.4.5.2	Ionenaustausch	86
4.4.5.3	Langsame Entcarbonisierung mit Kalkmilch/Kalkwasser	87
4.5	Korrosion durch Wasser und Wasserinhaltsstoffe	89
4.5.1	Korrosion in Wasserinstallationen	89
4.5.2	Ursachen für Korrosion in Wasserinstallationen	91
4.5.2.1	Korrosion durch gelösten Sauerstoff	91
4.5.2.2	Korrosion durch überschüssiges Kohlendioxid	92
4.5.2.3	Korrosion durch Schmutzteilchen	92
4.5.2.4	Korrosion nach Mischung von Wässern	93
5	Wasserrecht	95
5.1	Art der Einleitung	97
5.1.1	Direkteinleiter	97
5.1.2	Indirekteinleiter	98
5.2	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	98
5.2.1	Erlaubnis und Bewilligung	100
5.2.2	§ 7a WHG und Stand der Technik	100
5.2.3	Novellierungsinhalte des WHG 1996	101
5.2.4	Grundwasserverordnung zum § 6a WHG	102
5.3	Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift (RAbwVwV) und Abwasserverordnung (AbwV) zum § 7a WHG	104
5.4	Abwasserabgabengesetz (AbwAG)	111
5.5	Indirekteinleiter-Bestimmungen	114
5.5.1	Indirekteinleiter-Verordnungen	114
5.5.2	ATV-Arbeitsblatt A 115	115
5.6	Wassergefährdende Stoffe	116
5.7	Eigenkontrolle/Selbstüberwachung	117
5.8	(Gewerbe-) Abwasserkataster	123
5.9	EG-/EU-Vorgaben	124
6	Abwasserinhaltsstoffe	129
6.1	Grobe Einteilung	129
6.2	Probennahme, -transport und -aufbewahrung	129
6.3	Parameter zur Kennzeichnung von (kommunalen) Abwässern	132
6.3.1	Absetzbare Stoffe	132
6.3.2	Temperatur	133
6.3.3	Organoleptische Parameter (Sinnesprüfung)	133
6.3.4	Elektrische Leitfähigkeit	133
6.3.5	pH-Wert	134
6.3.6	Gehalt an gelöstem Sauerstoff (O ₂)	134
6.3.7	Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅ , engl.: BOD ₅)	134
6.3.8	Biochemischer Abbau als Steuerungsparameter	137
6.3.8.1	BSB-M3-Verfahren	137
6.3.8.2	Kontinuierliche Erfassung des biochemischen Sauerstoffverbrauches (BSV) und der Belebtschlammrespiration (BSR)	139
6.3.8.3	ARAS-Sensor-BSB	140
6.3.9	Zum Begriff «biologisch abbaubar»	140
6.3.10	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, engl.: COD)	142
6.3.11	Gegenüberstellung von BSB ₅ und CSB	143
6.3.12	Der biochemische Abbaugrad BSB ₅ : CSB	143

6.3.13	Kontinuierliche CSB-Messung	144
6.3.14	TOC-Bestimmung als Alternative zum CSB	145
6.3.15	Gehalt an Stickstoffverbindungen	147
6.3.16	Gehalt an Phosphorverbindungen	149
6.3.17	Gehalt an Halogenkohlenwasserstoffen (AOX)	149
6.3.18	Fischtoxizität und Bakterientests	150
6.3.19	Übersicht der Kenngrößen (Größenordnungen der Werte)	151
7	Mechanisch-biologische Reinigung kommunaler Abwässer (BSB₅-Abbau)	153
7.1	Abwasserarten und -sammlung	153
7.2	Aufbau und Funktion einer konventionellen kommunalen Kläranlage (KKA) – Übersicht	154
7.3	Mechanischer Anlagenteil	156
7.3.1	Allgemeines zum mechanischen Abscheidvorgang	156
7.3.2	Rechen und Siebe	157
7.3.3	Sandfang	159
7.3.4	Absetzbecken	161
7.3.4.1	Vorklärbecken	161
7.3.4.2	Nachklärbecken	162
7.3.5	Abwasserfiltration	163
7.4	Biologischer Anlagenteil hinsichtlich BSB ₅ -Reduktion	163
7.4.1	Geschichtliche Entwicklung	164
7.4.2	Abbauprinzip und Vergleich von Belebtschlammverfahren und Tropfkörper	165
7.4.3	Belebtschlammverfahren	165
7.4.3.1	Künstliche Belüftung	166
7.4.3.2	Bakterienverlust und -rückführung	167
7.4.3.3	Kenngrößen der Belebtschlammbiologie	168
7.4.3.4	Mikroskopische Beurteilung des Biologiezustandes	169
7.4.3.5	Vor- und Nachteile des Belebtschlammverfahrens	170
7.4.4	Aerobe Festbettreaktoren	170
7.4.4.1	Tropfkörper	171
7.4.4.2	Tauchtropfkörper	174
7.4.4.3	Schwebekörper	175
7.4.4.4	Getauchte Festbetтанlagen	175
7.4.4.5	Biologische Filter	175
7.4.5	Mehrstufige und kombinierte Verfahren	176
7.4.5.1	Kombination von Tropfkörpern mit Belebтанlagen	176
7.4.5.2	Das AB(Adsorptions-/Belebungs-)-Verfahren (RWTH Aachen)	178
7.4.6	Maßnahmen zur Verbesserung der Ablaufwerte	180
7.4.6.1	Hydraulische Lastverminderung	183
7.4.6.2	Biologische Frachtverminderung	183
7.4.6.3	Leistungserhöhung der biologischen Stufe	183
7.4.6.4	Nachbehandlung des Ablaufs	184
7.4.7	Störungs- und Sicherheitsanalyse	187
7.5	Schlammbehandlung	192
8	Pflanzenkläranlagen (PKA)	193
8.1	Grundsätzliches, Gemeinsamkeiten	193
8.2	Anlagenbeispiele	194
8.2.1	Wurzelraumverfahren	195
8.2.2	Schilf-Binsen-Anlagen	196
8.2.3	Hydrobotanische Anlagen	196
8.2.4	Subterra-Prinzip	197
8.3	Leistungsfähigkeit	197
8.3.1	Voraussetzungen für PKA-Genehmigung (NRW)	198
8.3.2	Bedenken gegen PKA-Betrieb	198
8.3.3	Abbauleistungen	198

9	Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer – Stickstoffelimination	203
9.1	Nitrifikation	205
9.1.1	Wachstumsraten und Schlammalter	205
9.1.2	Vereinfachte Abbaugleichung	206
9.1.3	Externe Nitrifikantenzüchtung	207
9.2	Biologische Denitrifikation	207
9.2.1	Sauerstofffreiheit und H-Donatoren	208
9.2.2	Vereinfachte Abbaugleichung	208
9.3	Verfahrenstechnische Konzepte	208
9.3.1	Nachgeschaltete Denitrifizierung	209
9.3.1.1	Belebtschlamm als C-Quelle	210
9.3.1.2	Münchener Denitrifikations-Sandfilter mit Methanol als C-Quelle	211
9.3.2	Integrierte vorgeschaltete Denitrifizierung	211
9.3.3	Simultane Denitrifikation	212
9.3.4	Nitrifikation/Denitrifikation in einer zweistufigen Belebung	213
9.3.5	Nitrifikation im Batchreaktor (ABR- bzw. SBR-Verfahren)	214
10	Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer – Elimination von Phosphaten	217
10.1	Phosphat als Nährstoff – Gewässereuthrophierung	217
10.2	Phosphatmengen und deren Begrenzung	218
10.2.1	Phosphatsubstitution in Waschmitteln	219
10.2.2	Stand und Tendenzen der P-Eliminierung	221
10.3	P-Eliminierung durch chemische Fällung	222
10.3.1	Fällmittel	222
10.3.1.1	Eisensalze	222
10.3.1.2	Aluminiumsalze und Tonerde	223
10.3.1.3	Kalk	223
10.3.2	Ort der Fällung in der Kläranlage	225
10.3.2.1	Vorfällung	225
10.3.2.2	Simultanfällung	226
10.3.2.3	Nachfällung	227
10.3.3	Vor- und Nachteile zusammengefaßt	228
10.4	Biologische P-Eliminierung (Bio-P-Prozeß)	228
10.4.1	Begriffsklärungen	229
10.4.2	Prinzip des Bio-P-Prozesses	229
10.4.3	Randbedingungen	231
10.4.4	Optimierungsmöglichkeiten und Probleme	232
10.4.5	Verfahrenstechnische Realisierungen	233
10.4.5.1	Hauptstromverfahren	233
10.4.5.2	Nebenstromverfahren	236
10.4.6	Leistungsfähigkeit und Grenzen	238
10.5	Rest-P-Elimination durch Suspensafiltration	240
11	Gewässergüte	243
11.1	Biologische Gewässergüte	243
11.1.1	Saprobienindex	246
11.1.2	Gewässergüteklassen	247
11.2	Biomonitoring	249
11.2.1	Begriffsklärungen	249
11.2.2	Höhere Organismen	250
11.2.3	Algen	250
11.2.4	Mikroorganismen	251
11.3	Chemische Gütebestimmung	251
12	Wassergefährdende Stoffe	257
12.1	Rahmengesetzgebung des WHG	257
12.2	Bestimmung und Klassifizierung wassergefährdender Stoffe (wS)	259
12.2.1	Wassergefährdungsklassen nach VwVwS	259

12.2.2	Brennbare Flüssigkeiten nach VbF	260
12.2.3	Wassergefährdende Stoffe als Gefahrstoffe und Gefahrgüter	261
12.3	Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gemäß Musteranlagenverordnung (VAWS)	262
12.3.1	Aspekte der wS-Lagerung	264
12.4	Haftung der Anlagenbetreiber	265
12.4.1	Haftung nach § 22 WHG	265
12.4.2	Haftung nach BGB	266
12.4.3	Haftung nach Umwelthaftungsgesetz (UHG)	266
12.5	Straftatbestände und Ordnungswidrigkeiten	266
13	Biologische Industrieabwasserreinigung	269
13.1	Weiterentwicklungen der Aerobverfahren	270
13.1.1	Hochbiologie	270
13.1.2	Biochemische Leistungssteigerung	275
13.1.2.1	Hubstrahlreaktor (HSR)	275
13.1.2.2	Schlaufen-, HCR- und Prallstrahlreaktor	277
13.1.2.3	Hochlastreaktor mit gepackter Säule	282
13.1.3	Festbettreaktoren	283
13.1.3.1	Festbett-Kaskaden(FBK)-Bioreaktor	284
13.1.3.2	Biofiltromat-Verfahren	285
13.2	Anaerobe Abwasserreinigung – Fermentation	287
13.2.1	Mikrobiologische Grundlagen	287
13.2.2	Milieubedingungen	290
13.2.3	Einsatzbereich	291
13.2.4	Verfahrenstechnische Aspekte	292
13.2.4.1	Ein- oder zweistufige Anlage	292
13.2.4.2	Bakterienimmobilisierung	294
13.3	Stand der industriellen Abwasserreinigung	296
14	Ionenaustauscher (IA)	299
14.1	Arten von Ionenaustauschern	299
14.1.1	Kationenaustauscher	301
14.1.2	Anionenaustauscher	301
14.2	Beladung und Regeneration	301
14.2.1	Beladung	302
14.2.2	Regeneration	303
14.2.3	Regenerationszeitpunkt	303
14.3	Auswahl, Verfahren und Kombination von IA-Anlagen	304
14.3.1	Selektivität	304
14.3.2	Kombination zu Austauschstraßen	306
14.3.3	Verfahrenstechnische Lösungen	307
14.4	Anwendungsbeispiel: Galvanische Spülwässer	309
15	Adsorption	313
15.1	Organische Polymere	313
15.1.1	Adsorberharze	313
15.1.2	Geextraktion	314
15.1.3	LPR-Retention	314
15.2	Adsorption an Aktivkohle (AK)	315
15.2.1	Eigenschaften und Arten von Aktivkohle	316
15.2.2	Beladung/Adsorption	317
15.2.3	Verfahren der Adsorption	320
15.2.3.1	Einrührverfahren mit PAK	320
15.2.3.2	Filterverfahren mit GAK	320
15.2.3.3	Kombination Adsorption–Biologie	322
15.2.3.4	Flocculationsadsorption	323
15.2.4	Regeneration bzw. Reaktivierung	323
15.3	Einsatz von Braunkohlenkoks (BKK)	327

16	Abwasserfiltration	329
16.1	Klär- und Mikrofiltration	330
16.2	Abwasserfiltration in der kommunalen Abwasserreinigung	333
16.2.1	Abwasserfiltration mit Mehrschicht-Volumenfiltern	334
16.2.2	Flockungsfiltration	334
16.2.3	Biologisch aktivierte Filter	335
16.2.4	Biologisch aktivierte Flockungsfiltration	335
16.2.4.1	Phosphatelimination	336
16.2.4.2	CSB-Elimination	336
16.2.4.3	Restnitrifikation	336
16.2.4.4	Denitrifikation	336
16.2.5	Einsatz von Tuchfiltern	336
16.2.6	Entfernung von Keimen/Krankheitserregern	337
16.3	Filtration industrieller Abwässer	338
16.3.1	Kontinuierliche Raumfiltration	338
16.3.2	Naßfiltration mit Geweben	340
16.3.3	Dynamische Flächenfilter	342
16.3.3.1	Crossflow-(Mikro-)Filtration	342
16.3.4	Mikrofiltration mit keramischen Membranen	343
16.4	Ultrafiltration (UF)	343
16.4.1	Verfahrenstechnische Ausführungen	345
16.4.1.1	Membranen und Module	345
16.4.1.2	Diskontinuierliche UF	347
16.4.1.3	Kontinuierliche UF	348
16.5	Membranbioreaktoren	348
16.5.1	Biomembrat®-Verfahren	349
17	Weitere Membrantrennverfahren	353
17.1	Umkehrosmose (UO) bzw. Reverse Osmose (RO)	353
17.1.1	Osmotischer Vorgang	353
17.1.2	Umkehrung der Osmose	354
17.1.3	Verfahrenstechnische Ausführungen	356
17.1.3.1	Membranen und Module	356
17.1.3.2	Rohwasservorbehandlung	356
17.1.3.3	Verfahrensbeispiele	357
17.2	Pervaporation (PV)	359
17.3	Elektrodialyse (ED)	363
18	Naßoxidation und Desinfektion	365
18.1	Naßoxidation mit Sauerstoff	365
18.2	Naßoxidation und/oder Abwasserdesinfektion mit Oxidantien	367
18.2.1	Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂)	367
18.2.2	Ozonisierung	368
18.3	Schadstoffzerstörung durch Bestrahlung	370
18.3.1	UV-C-Bestrahlung	370
18.3.2	Elektronenstrahlen	371
18.4	UV-unterstützte Naßoxidation	372
18.4.1	UV/O ₃ -Oxidation	373
18.4.2	UV/H ₂ O ₂ -Oxidation	374
18.4.3	Anwendungsbereiche	375
18.4.4	AOX-Neubildung	375
18.5	Abwasserdesinfektion	376
18.5.1	Begriffe und Grundlagen der Desinfektion	377
18.5.2	Rechtliche Situation	378
18.5.3	Quellen der Keime	379
18.5.4	Desinfektionsverfahren	379
18.5.4.1	UV-Bestrahlung	380

19	Neutralisation und Fällung	383
19.1	Neutralisation	383
19.2	Neutralisationsmittel	383
19.2.1	Neutralisation saurer Abwässer	384
19.2.1.1	Neutralisation mit NaOH	384
19.2.1.2	Neutralisation mit Kalk	384
19.2.2	Neutralisation alkalischer Abwässer	384
19.2.2.1	Neutralisation mit Mineralsäuren	384
19.2.2.2	Neutralisation mit CO ₂	385
19.2.3	Dosierung	385
19.3	Verfahren der Neutralisation	385
19.3.1	Chargen-Neutralisation	386
19.3.2	Durchlaufneutralisation	387
19.3.3	Neutralisation im Schnellreaktor	388
19.4	Pufferverhalten des Abwassers	388
19.5	Fällung und Flockung	389
19.5.1	Zur Begrifflichkeit	389
19.5.2	Fällung von Schwermetallen	391
19.5.3	Einsatz von Flockungshilfsmitteln (FHM)	393
20	Flotation	395
20.1	Flotation mit Tauchbelüftern	396
20.2	Vakuum- und Entspannungsflotation	397
20.3	Elektroflotation	398
20.4	Flotation mit integrierter Filtration	399
21	Ölabscheidung und Emulsionsspaltung	401
21.1	Begriffsklärungen	401
21.2	Freie und instabil emulgierte Öle	402
21.2.1	Ölabscheider	402
21.2.2	Koaleszenzabscheider	403
21.2.3	Entsorgung der Abscheiderinhalte	405
21.3	Stabil emulgierte Öle	405
21.3.1	Ultrafiltration	407
21.3.2	Säurespaltung mit Flotation	409
21.3.3	Organische oder anorganische Spaltmittel?	410
21.3.4	Vakuumdestillation und Brüdenverdichtung	410
22	Elektrolytische Verfahren	411
22.1	Prinzip der Elektrolyse	411
22.2	Ausführungsformen der Module	413
22.3	Anwendungsbeispiele	414
22.3.1	Übersicht	414
22.3.2	Nickelbäder	414
22.3.3	Kupferbäder und Cyanidzerstörung	415
22.3.4	Zinnbäder	415
22.3.5	Cr(VI)-Entgiftung und Beizregeneration	416
22.4	Elektrolytisch erzeugte Fällung	416
23	Thermische Verfahren zur Abwasserbehandlung	419
23.1	Eindampfung	419
23.1.1	Abwasserinhaltsstoffe – Einfluß auf die Eindampfung	420
23.1.2	Verdampferbauarten	420
23.1.2.1	Umlaufverdampfer	420
23.1.2.2	Dünnschichtverdampfer	420
23.1.2.3	Tauchbrennverdampfer	421
23.1.2.4	Rührwerksverdampfer	421

23.1.3	Energiebilanz und Kosten	421
23.1.3.1	Mehrstufenverdampfung	421
23.1.3.2	Brüdenkompression	422
23.1.4	Anwendungen	422
23.2	Verbrennung	422
23.2.1	Einflußgröße Heizwert (H_u)	422
23.2.2	Einfluß der Abwasserinhaltsstoffe	423
23.2.3	Verbrennungseinheit	424
23.2.3.1	Brennkammer	424
23.2.3.2	Wirbelschichtofen	426
23.3	Flüssig-Flüssig-Extraktion	427
23.3.1	Extraktionsvorgang und Lösemittleigenschaften	427
23.3.2	Verfahren der Extraktion	428
23.4	Strippen und Destillieren flüchtiger Stoffe	428
23.4.1	Strippung von Ammoniak	430
Teil 2: Luftreinhaltung		435
24	Einführung – Grundbegriffe der Luftreinhaltung	437
24.1	Zusammensetzung der Luft	437
24.2	Luftverunreinigungen	437
24.3	Emission und Immission	439
24.4	Konzentrationsangaben	439
25	Immissionsschutzrecht	441
25.1	Bundesimmissionsschutzgesetz	441
25.1.1	Zweck und Geltungsbereich	442
25.1.2	«Anlagen» im Sinne des BImSchG	442
25.1.3	Genehmigungsbedürftige Anlagen (§§ 4 bis 21 BImSchG)	443
25.1.3.1	Betreiberpflichten (§ 5 BImSchG)	443
25.1.3.2	Grundsätzliche Anforderungen (§ 7 BImSchG)	444
25.1.3.3	Katalog der genehmigungsbedürftigen Anlagen (4. BImSchV)	445
25.1.3.4	Förmliche und vereinfachte Genehmigung	446
25.1.3.5	Durchführung des Genehmigungsverfahrens (9. BImSchV)	446
25.1.3.6	Konkretisierung der Anforderungen (TA Luft)	446
25.1.3.7	Einschluß anderer Genehmigungserfordernisse (§ 13 BImSchG)	447
25.1.3.8	Nachträgliche Anordnungen auf Behördeninitiative	447
25.1.3.9	Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigung (1996)	447
25.1.4	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	449
25.1.5	Überwachungsbedürftige Anlagen nach Gerätesicherheitsgesetz (GSG)	450
25.2	Verordnungen zum BImSchG	452
25.2.1	Kleinf Feuerungsanlagen (1. BImSchV, 1997)	452
25.2.2	Emissionsbegrenzung leichtflüchtiger HKW (2. BImSchV, 1990)	455
25.2.3	Grundsätze des Genehmigungsverfahrens (9. BImSchV, 1992)	455
25.2.4	Beschaffenheit und Auszeichnung von Kraftstoffqualitäten (10. BImSchV, 1993; 19. BImSchV, 1992)	456
25.2.5	Störfallverordnung (12. BImSchV, 1991)	456
25.2.6	Großfeuerungsanlagen-Verordnung (13. BImSchV (GFAVO), 1983)	457
25.2.7	Begrenzung der KW-Emissionen von Tankstellen (20. und 21. BImSchV, 1992)	461
25.2.8	Immissionsbezogene Verordnungen (22. und 23. BImSchV, 1993 und 1996)	461
25.2.9	Begrenzung des «Elektrosmogs» (26. BImSchV, 1996)	463
25.3	TA Luft	465
25.3.1	Allgemeine Vorschriften (Abschnitt 2 TA Luft)	465
25.3.2	Begrenzung und Feststellung der Emissionen (Abschnitt 3)	467
25.3.3	Anforderungen an Altanlagen (Abschnitt 4)	470
25.3.4	Anhänge der TA Luft	472

26 Emissionen	473
26.1 Herkunft von Emissionen	473
26.2 Quellgruppen	473
26.3 Übersicht und Ursachen der Emissionsentwicklung bei den Hauptkomponenten	476
26.3.1 Kohlendioxid (CO ₂)	476
26.3.2 Kohlenmonoxid (CO)	476
26.3.3 Schwefeldioxid (SO ₂)	478
26.3.4 Stickoxide (NO _x)	478
26.3.4.1 Entstehung und Emission von NO _x	479
26.3.4.2 Emittenten	480
26.3.5 Organische Verbindungen	481
26.3.6 Staub	482
26.3.7 Schwermetalle	482
26.4 Ermittlung und Begrenzung von Emissionen	483
26.4.1 Ausweisung von Untersuchungsgebieten	483
26.4.2 Pflicht zur Emissionserklärung	484
26.4.3 Emissionsfaktoren	486
26.4.4 Emissionskataster	486
26.4.5 Luftreinhalteplan	488
26.4.6 Messung von Emissionen	489
26.4.6.1 Vorgaben der TA Luft Nr. 3.2	493
26.4.6.2 Messung von Stäuben	496
26.4.6.3 Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	502
26.4.7 Begrenzung von Emissionen	502
27 Ausbreitung von Schadstoffen (Transmission)	503
27.1 Allgemeines	503
27.2 Die Schornsteinhöhenberechnung	504
27.2.1 Ermittlung der vorläufigen Bauhöhe H' mit dem Nomogramm	507
27.2.1.1 Ermittlung des äquivalenten Schornsteindurchmessers	507
27.2.1.2 Ermittlung der Rauchgasmenge (tr, n)	508
27.2.1.3 Ermittlung des Emissionsmassenstromes Q	509
27.2.1.4 Der Gewichtungsfaktor S	509
27.2.2 Berücksichtigung des Immissionsniveaus	509
27.3 Ausbreitungsrechnung	511
27.3.1 Modellalternativen	511
27.3.2 Text der TA Luft (1986) – Anhang C	513
27.3.3 Hinweise zu den Eingangsgrößen	518
27.3.3.1 Effektive Quellhöhe	518
27.3.3.2 Schornsteinüberhöhung	518
27.3.3.3 Berechnung weiterer Eingangsgrößen	520
28 Immissionen	523
28.1 Immissionswerte und -grenzwerte	523
28.1.1 Atmosphärische Immissionen	523
28.1.2 Arbeitsplatzbelastungen	526
28.2 Situationen besonders hoher atmosphärischer Immissionsbelastung (Smog)	527
28.2.1 Los-Angeles-Smog (Photochemischer Smog, Sommersmog)	527
28.2.1.1 Historie und Prinzip der Sommersmog-Entstehung	527
28.2.1.2 Emission der Vorläufersubstanzen	527
28.2.1.3 Folgereaktionen in der Atmosphäre	528
28.2.1.4 NO-, NO ₂ - und Ozon-Tagesgänge	529
28.2.1.5 Ozon(grenz)werte und Schadwirkung	530
28.2.2 Londonsmog (Saurer Smog, Wintersmog)	531
28.3 Messung atmosphärischer Immissionskonzentrationen	533
28.3.1 Meßpläne	535
28.3.1.1 Ermittlung der Vorbelastung (TA Luft 2.6.2/2.6.3)	535
28.3.1.2 Stationäre Meßstationen und mobile Meßfahrzeuge	536

28.3.2	Probennahme	537
28.3.3	Meßverfahren	537
28.3.3.1	Messung von Stäuben	538
28.3.3.2	Messung von Gasen	539
28.3.4	Auswertung automatischer Messungen	539
29	Wirkungen von Luftschadstoffen	541
29.1	Wirkungen auf den Menschen	541
29.1.1	Schwefeloxide (SO ₂ /SO ₃)	541
29.1.2	Kohlenmonoxid (CO)	543
29.1.3	Stickoxide (Nitrose Gase: NO/NO ₂ , zusammen NO _x)	545
29.1.4	Ozon und andere Photooxidantien	545
29.1.5	Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	546
29.1.6	Feinstäube und Schwermetalle	546
29.1.6.1	Blei	547
29.1.6.2	Cadmium	548
29.1.7	Exkurs: Grundbegriffe der Toxikologie	548
29.2	Treibhauseffekt	550
29.2.1	Der natürliche Treibhauseffekt	550
29.2.2	Der anthropogene Treibhauseffekt	551
29.2.2.1	Kohlendioxid	553
29.2.2.2	Methan	555
29.2.2.3	Weitere Spurengase	556
29.2.2.4	Wasserdampf	557
29.2.3	Auswirkungen des Treibhauseffektes	557
29.2.3.1	Primär: Atmosphärische Temperaturerhöhung	557
29.2.3.2	Ansteigen der Weltmeeresspiegel	560
29.2.3.3	Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft	561
29.3	Ozonloch durch FCKW	563
29.3.1	Arten und Einsatzbereiche der FCKW	563
29.3.2	Wirkung in der Atmosphäre	564
30	Staubabscheidung	567
30.1	Allgemeines, Kenngrößen, Übersicht	567
30.1.1	Staubfraktionen, -zusammensetzung	567
30.1.2	Emissionsgrenzwerte	568
30.1.3	Gesamtabscheidegrad	568
30.1.4	Fraktionsabscheidegrad	569
30.2	Massenkraftabscheider	572
30.2.1	Schwerkraftabscheider	572
30.2.2	Fliehkraftabscheider (Zyklone)	573
30.3	Filternde Abscheider	576
30.3.1	Einsatzkriterien für Filter	577
30.3.1.1	Reingasstaubgehalt	577
30.3.1.2	Druckverlust	577
30.3.1.3	Effektive Filterflächenbelastung	578
30.3.1.4	Abgastemperatur	579
30.3.2	Tiefen-, Speicher- bzw. Absolutfilter	579
30.3.3	Abreinigungs- bzw. Flächenfilter	580
30.3.3.1	Schlauchfilter mit Druckluftabreinigung (Puls-Jet)	582
30.3.3.2	Sinterlamellen- und Starrkörperfilter	584
30.3.4	Schütttschichtfilter	586
30.3.4.1	CS-Schütttschichtfilter	587
30.3.4.2	Granulat-Röhrenfilter	588
30.4	Elektrostatische Abscheider	589
30.4.1	Prinzip des Elektrofilters	590
30.4.2	Trockene Elektrofilter	594
30.4.3	Nasse Elektrofilter	595

30.4.4	Kondensations-Naß-Elektrofilter	596
30.4.5	Ionisationswäscher	596
30.5	Staubwäscher	598
30.5.1	Prinzip der Naßwäscher	598
30.5.2	Bauformen	600
30.5.2.1	Waschtürme	600
30.5.2.2	Strahlwäscher	602
30.5.2.3	Wirbelwäscher	603
30.5.2.4	Desintegratoren und Rotationswäscher	604
30.5.2.5	Venturiwäscher	605
30.5.2.6	Tropfenabscheidung und Waschwasserkreislauf	606
30.6	Zusammenfassung unter besonderen Gesichtspunkten	608
30.6.1	Auswahlkriterien	608
30.6.2	Heißgas- und Hochtemperaturesstaubung	608
30.6.3	Hochleistungsentstaubung	612
31	Absorption und Adsorption	615
31.1	Übersicht der Verfahren zur Behandlung von Gaskomponenten	615
31.1.1	Vorbemerkung zur Optimierung des Lufthaushaltes	617
31.2	Absorption von Gasen in Flüssigkeiten	617
31.2.1	Physikalische Absorption und Desorption	618
31.2.2	Chemische Absorption und Desorption	620
31.2.3	Kriterien zur Waschmittelauswahl	621
31.2.4	Absorberbauarten	621
31.2.4.1	Wäscher ohne Einbauten (Freiraumabsorber)	624
31.2.4.2	Wäscher mit ruhenden Einbauten	626
31.2.4.3	Wäscher mit bewegten Einbauten (Rotationswäscher)	629
31.2.5	Absorption von Quecksilber	630
31.3	Sprühabsorption (Quasi-Trocken-Verfahren, QTV)	631
31.4	Trockensorption (TSV) von Rauchgasen – Reaktion zum Produkt	632
31.4.1	Kalkprodukte	632
31.4.2	Natriumbicarbonat	634
31.4.3	Aktivkoks/-kohle	634
31.4.3.1	Steinkohlekoks (SKK) – SO ₂ und NO _x -Abscheidung	634
31.4.3.2	Herdofenkoks (HOK) – Hg- und PCDD/F-Abscheidung	635
31.4.3.3	Kalk-Koks-Gemisch (Sorbalit®)	637
31.4.4	Imprägnierte Zeolithe – Hg- und PCDD/F-Abscheidung	638
31.5	Adsorption von Gasen an Feststoffen – Reversible Anlagerung	640
31.5.1	Ergänzungen zum AK-Einsatz in der Wasserreinigung	640
31.5.2	Anforderungen an Adsorbentien	643
31.5.3	Desorption und Regeneration	645
31.5.4	Adsorberbauarten	646
31.5.4.1	Festbettadsorber	646
31.5.4.2	Bewegtbettadsorber	648
31.5.4.3	Rotierende Adsorber	648
32	Anwendungsbereich: Lösemittelrückgewinnung	653
32.1	Einsatzbereiche und Eigenschaften von Lösemitteln	653
32.2	Grundsätzliche Möglichkeiten der Problemverringering	655
32.3	Rückgewinnung durch Kondensation	659
32.3.1	Kondensation ohne Einhaltung von Emissionsanforderungen	660
32.3.2	Kondensation/Desublimation mit Einhaltung von Emissionsanforderungen	662
32.3.2.1	Kondensation mit Zwischenkreislauf (CRYOSOLV®-Verfahren)	662
32.3.2.2	Desublimation im bewegten Kugelbett (CRYSUMAT®-K-Verfahren)	663
32.3.3	Sprühkondensation	665
32.4	Rückgewinnung durch Adsorption	666
32.5	Rückgewinnung durch Adsorption	669

32.5.1	Aktivkohle(AK)-Festbetten	671
32.5.2	AK-Wanderbett	673
32.5.3	AK-Adsorptionsrad (ADR)	675
32.5.4	Anwendungsbeispiel: Lackierabluft, Vorreinigung	676
32.5.5	Makroporöse Polymere	678
32.5.6	Molekularsiebe	678
32.6	Rückgewinnung durch Gaspermeation	679
33	Thermische Abluftreinigung	681
33.1	Grundlagen der oxidativen Schadstoffvernichtung	681
33.1.1	Zündbedingungen	682
33.1.2	Brennstoffeigenschaften	682
33.1.3	Brennstoffumsetzung (Verbrennungsgleichungen)	683
33.1.4	Sauerstoff- und Luftbedarf (Luftüberschußzahl)	684
33.1.5	Verbrennungs- und Rauchgastemperatur	684
33.1.6	Verbrennungsprodukte	685
33.2	Thermische Nachverbrennung (TNV, TAR)	685
33.3	Katalytische Nachverbrennung (KNV)	689
33.3.1	Von der TNV abweichende Grundlagen	689
33.3.2	Kenngößen von und Anforderungen an Katalysatoren	690
33.3.3	Thermische oder katalytische Nachverbrennung?	692
33.3.4	Hochtemperatur-KNV	694
33.3.5	Katalytische Dioxinzerstörung	695
33.4	Regenerative Nachverbrennung (RNV)	696
33.4.1	Beispiel: Combu Changer mit stationärer Wärmetauschermasse	697
33.4.2	Beispiel: RNV mit stationärer Wärmetauschermasse	698
33.4.3	Beispiel: RNV mit bewegter Wärmetauschermasse	698
33.4.4	Katalytischer Thermoreaktor (KTR)	700
33.4.5	Vergleich zwischen TNV, KNV, RNV und Adsorptionsrad	700
33.5	Emissionsminderung bei Motorabgasen	701
33.5.1	Katalysatortechnik für Ottomotoren	702
33.5.1.1	Geregelter Dreiwege-Katalysator (Lambda-Konzept)	702
33.5.1.2	Emissionsminderung und -erhöhung durch Kfz-Kat	705
33.5.1.3	Andere Katalysatorkonzepte	707
33.5.2	Katalysator- und Filtertechnik für Dieselmotoren	708
33.5.2.1	Emissionsvergleich mit Ottomotoren	708
33.5.2.2	Behandlung von Dieselabgasen	709
34	Biologische Abluftreinigung	711
34.1	Biofilter aus natürlichem Trägermaterial	713
34.1.1	Einsatzvoraussetzungen	713
34.1.2	Filtermaterial	715
34.1.3	Abbauvorgänge	717
34.1.4	Bauformen	718
34.1.4.1	Offene Bio-Beete	718
34.1.4.2	Geschlossene Biofilter	719
34.1.4.3	Rotor-Biofilter	720
34.1.5	Auswahlkriterien und Bemessungsgrößen	721
34.1.6	Einsatzbereiche	722
34.2	Biotropfkörper und Biotricklingfilter	725
34.3	Biomembranreaktoren	727
34.4	Biowäscher	728
34.4.1	Merkmale und Prinzip	729
34.4.2	Bauformen und Einsatzbereiche	730
34.4.3	Wasser-Belebtschlamm-Hochsieder-Gemisch	731
34.5	Biologische Behandlung von Lösemittelemissionen	732
34.5.1	Abbaumechanismen	732
34.5.2	Limitierung des Abbaus	733

34.5.3	Anwendungen	734
34.6	Vergleich der biologischen Verfahren	734
34.6.1	Vor- und Nachteile von offenen Biofiltern	734
34.6.2	Vor- und Nachteile von Biowäschern	736
34.7	Vergleich zwischen chemischer und biologischer Gaswäsche	736
34.7.1	Merkmale der chemischen Oxidation	737
34.7.2	Merkmale der biologischen Oxidation	737
34.7.3	Vergleich von Vor- und Nachteilen	738
34.8	Verfahrenskombinationen	738
34.8.1	Biosorber – Bewegtes Trägermaterial	738
34.8.2	Synergiefilter – Wäscher, Biofilter und Adsorber	740
35	Entschwefelung von Rauchgasen	743
35.1	Verfahren mit Endprodukt Gips (Gips-Naß-REA)	745
35.1.1	Verfahren der Fa. Bischoff	748
35.1.2	Verfahren der Fa. Steinmüller	751
35.1.3	Verfahren der Fa. Saarberg-Hölter-Umwelttechnik (SHU)	753
35.2	Gipsverwertung	755
35.3	Reinigung von REA-Abwässern	756
35.3.1	Fällungsverfahren	757
35.3.2	Ionentausch mit Eindampfung	757
35.4	Sprühabsorptionsverfahren (SAV) mit Kalk	759
35.4.1	Verfahren der Fa. Fläkt	759
35.4.2	Abfälle aus der SAV	759
35.5	Trockensorptionsverfahren (TSV) mit Kalk	760
35.6	Verfahren mit Zwischenprodukt SO ₂ -Reichgas	761
35.6.1	Wellmann-Lord/SULFROX-Verfahren (Davy McKee/Lurgi)	761
35.6.2	BF/Uhde-Verfahren	763
35.6.3	Entschwefelung mit MgO	763
35.7	Verfahren mit Endprodukt Schwefelsäure	764
35.7.1	Degussa-Plinke-Verfahren mit H ₂ O ₂	764
35.7.2	Sulfacid®-Verfahren (Fa. Lurgi)	765
35.7.3	Concat-Verfahren (Fa. Lurgi)	766
36	Weitergehende Rauchgasreinigung	769
36.1	Entstickung von Kraftwerksabgasen	769
36.1.1	Grenzwertanforderungen	769
36.1.2	Primärmaßnahmen im Verbrennungsprozeß	770
36.1.3	Rauchgasseitige Sekundärmaßnahmen	773
36.1.3.1	Selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR)	775
36.1.3.2	Selektive katalytische Reduktion (SCR)	781
36.2	Simultane oder kombinierte Entschwefelung und Entstickung	783
36.2.1	Walther/AMASOX-Verfahren	785
36.2.2	Aktivkoks-Verfahren (BF/Uhde, Petersen – ACCR)	786
36.2.3	DESONOX-Verfahren	789
36.2.4	Elektronenstrahlverfahren (ESV)	791
36.2.5	DENOX/DESOX-Verfahren in zirkulierender Wirbelschicht	792
Teil 3:	Abfallvermeidung und -entsorgung	795
37	Abfallbegriff, -mengen und -parameter	797
37.1	Abfallbegriff	797
37.1.1	Subjektiver und objektiver Abfallbegriff	797
37.1.2	(Alter) Abfallbegriff des AbfG (1986)	798
37.1.3	(Neuer) Abfallbegriff der EU und des Krw-/AbfG	798
37.1.4	Abfall oder Produkt, Verwertung oder Beseitigung?	799
37.1.5	Abfallkatalog und -schlüsselnummer	803

37.2	Unterscheidung von Abfallarten	803
37.3	Größen für die Abfallmengenabschätzung	805
37.3.1	Einwohnerspezifische Müllmenge (Hausmüll/Restmüll)	805
37.3.2	Müllraumdichte (Raumgewicht)	807
37.3.3	Jahresmüllmenge	807
37.3.4	Gewerbeabfall, Bauschutt, Erdaushub	808
37.4	Ermittlung der Haus- bzw. Restmüllzusammensetzung	809
37.4.1	Müllprobennahme	809
37.4.2	Siebanalyse	814
37.4.3	Sortieranalyse	815
37.5	Weitere Parameter zur Kennzeichnung des Mülls	815
37.5.1	Wassergehalt (WG)	815
37.5.2	Glühverlust (GV) und Glührückstand (GR)	816
37.5.3	Alternativen zum Glühverlust	816
37.5.4	Brenn- bzw. Heizwert (H_o bzw. H_n)	817
37.5.5	Prüfung auf Kompostierbarkeit	818
38	Abfallrecht	819
38.1	Historie des Abfallrechts	819
38.1.1	Ansätze vor 1972	819
38.1.2	Abfallbeseitigungsgesetz (1972) und Abfallwirtschaftsprogramm (1975)	820
38.1.3	Abfallgesetz (1986)	821
38.2	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG, 1996)	821
38.2.1	Allgemeine Vorschriften (§§ 1 bis 3)	822
38.2.2	Grundsätze und Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen sowie der Entsorgungsträger (§§ 4 bis 21)	823
38.2.2.1	Grundsätze der Kreislaufwirtschaft (§ 4)	823
38.2.2.2	Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft (§§ 5 bis 8)	823
38.2.2.3	Verwertung oder Beseitigung?	825
38.2.2.4	Betreiberpflichten (§ 9)	832
38.2.2.5	Gemeinwohlverträgliche Beseitigung (§§ 10 bis 18)	832
38.2.2.6	Betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte und -bilanzen (§§ 19 bis 21)	833
38.2.3	Produktverantwortung (§§ 22 bis 26)	833
38.2.4	Planungsverantwortung (§§ 27 bis 36)	834
38.2.4.1	Ordnung und Planung der Abfallbeseitigung (§§ 27 bis 29)	834
38.2.4.2	Zulassung von Abfallbeseitigungsanlagen (§§ 30 bis 36)	835
38.2.5	Absatzförderung (§ 37)	838
38.2.6	Informationspflichten (§§ 38 und 39)	838
38.2.7	Überwachung der geordneten Abfallentsorgung (§§ 40 bis 52)	838
38.2.7.1	Unterschiedliche Überwachungsgrade (§§ 40 bis 48)	838
38.2.7.2	Zuordnung der Abfälle zum Grad der Überwachung	840
38.2.7.3	Transportgenehmigung und Entsorgungsfachbetriebe (§§ 49 bis 52)	842
38.2.8	Betriebsorganisation und Beauftragter für Abfall (§§ 53 bis 55)	843
38.2.9	Schlußbestimmungen (§§ 56 bis 64)	843
38.3	Verordnungen zum AbfG	843
38.3.1	Abfallbestimmung, -schlüsselnummer	847
38.3.2	Nachweis der geordneten Entsorgung (NachwV)	848
38.3.2.1	Obligatorischer Entsorgungsnachweis (EN) für bü-Abfälle – Grundverfahren (§§ 3 bis 7 NachwV)	848
38.3.2.2	Obligatorischer Entsorgungsnachweis für bü-Abfälle – privilegiertes Verfahren (§§ 10 bis 14 NachwV)	850
38.3.2.3	Sammelentsorgungsnachweis (SEN) für bü-Abfälle (§§ 8; 9 NachwV)	851
38.3.2.4	Begleitscheinverfahren für bü-Abfälle (§§ 15 bis 17 NachwV)	852
38.3.2.5	Übernahmeschein für bü-Abfälle (§§ 18; 19 NachwV)	854
38.3.2.6	Vereinfachter Entsorgungs- und Sammelentsorgungsnachweis (VN/VS) für ü-Abfälle (§§ 25; 26 NachwV)	854

38.3.3	Entsorgungsfachbetriebe (EfbV/EgRL)	855
38.3.4	Transportgenehmigung (TgV)	857
38.3.5	Betriebliche Abfallkonzepte und Bilanzen (AbfKoBiV)	858
38.3.6	Klärschlamm	858
38.3.7	Altöl	859
38.3.8	Verpackungsabfälle (1991, 1998)	865
38.3.9	Altautos	866
38.3.10	Batterien und Akkumulatoren	866
38.3.11	Betriebsbeauftragte für Abfall	867
38.4	Verwaltungsvorschriften (VwV)	867
38.4.1	TA Abfall (bü-Abfälle)	868
38.4.2	TA Siedlungsabfall – TASI	868
38.5	Abfallverbringung	874
39	Kommunale Abfallwirtschaft	877
39.1	Vermeiden vor Verwerten	878
39.2	Verwerten vor Beseitigen	880
39.2.1	Sammlung und Transport	881
39.2.1.1	Getrenntsammlung (Primäres Recycling)	882
39.2.1.2	Aufbereitung (Sekundärrecycling)	885
39.3	Abfallwirtschaftliche Ansätze	886
39.3.1	Integrierte Entsorgungskonzepte	887
39.3.2	Duales System	890
39.3.3	Kommunale Gebührensysteme	893
39.4	Auswirkungen des KrW-AbfG	898
40	Beispiele verwertbarer Altstoffe	903
40.1	Altpapier	904
40.2	Altglas	907
40.3	Kunststoffe	908
40.3.1	Möglichkeiten der Verwertung vermischter Kunststoffe	910
40.3.1.1	Werkstoffliches Recycling (physikalisch)	911
40.3.1.2	Rohstoffliches Recycling (chemisch/thermisch)	912
40.3.1.3	Energetische Nutzung	912
40.3.2	Resümee	914
40.4	Eisen- und Stahlschrott	915
40.5	Weißblechdosen	920
40.6	Vergleichende Ökobilanz für Getränkeverpackungen	921
40.7	Altfahrzeuge	921
40.8	Batterien und Akkumulatoren	926
40.9	Quecksilberhaltige Leuchtstofflampen	928
40.10	Elektronikschrott	929
40.10.1	Kostenübernahme durch den Ersterwerber (BDE)	931
40.10.2	Kostenübernahme durch den Letztbesitzer (ZVEI)	932
40.11	Bauabfälle bzw. -reststoffe	933
41	Deponierung von Abfällen	939
41.1	Allgemeine Probleme der Abfalldeponierung	941
41.2	Deponieplanung	943
41.2.1	Standortfindung	943
41.2.2	Abfallvorbehandlung als Bestandteil der Deponieplanung	945
41.2.3	Risikoabschätzung	949
41.3	Deponieformen und Deponietypen	949
41.3.1	Unterscheidung nach standortbedingtem Aufbau, spezifische Probleme	950
41.3.1.1	Hoch- bzw. Haldendeponie	950
41.3.1.2	Deponie am Hang	950
41.3.1.3	Grubendeponie (geschlossen)	950
41.3.1.4	Deponie als Talverfüllung bzw. im Kerbtal	951

41.3.2	Deponietypen – Unterscheidung nach Einbautechnik	951
41.3.2.1	Verdichtungsdeponie	951
41.3.2.2	Ballendeponie	952
41.3.2.3	Rottedeponie	952
41.3.2.4	Trockenreststoffdeponie	953
41.4	Rückbau von Deponien	953
41.5	Anforderungen der TA Siedlungsabfall (TASi)	959
41.5.1	Anforderungen an die Abfälle	959
41.5.2	Anforderungen an den Deponieaufbau	961
41.5.3	Anforderungen an Betrieb, Personal und Dokumentation	961
41.5.4	Altdeponien und Übergangsfristen	964
41.5.5	Bindungswirkung und Durchsetzbarkeit der TASi	965
41.6	Deponieabdichtungen	967
41.6.1	Basisabdichtung	967
41.6.1.1	Mineralische Abdichtungen aus kornabgestuften Mineralgemischen, Tonen und tonigen Schluffen	968
41.6.1.2	Kunststoffabdichtungsbahnen (KDB) mit Geotextil	968
41.6.1.3	Kombinationsdichtungen aus mineralischer Schicht und KDB	969
41.6.1.4	Asphaltbetondichtungen	969
41.6.1.5	TASi-Regeldichtung und Dränage	970
41.6.2	Oberflächenabdichtung	973
42	Reinigung von Sickerwasser aus Hausmülldeponien	975
42.1	Wasserhaushalt der Deponie (Geordnete Hochdeponie)	975
42.2	Sickerwassermenge, -zusammensetzung und -entwicklung	976
42.3	Maßnahmen zur Sickerwasserverringerung	980
42.4	Sickerwasserbehandlung	981
42.4.1	Einleitanforderungen	981
42.4.2	Sickerwassereigenschaften im Hinblick auf Konsequenzen für die Behandlung	984
42.4.3	Sickerwassermitbehandlung in kommunalen Kläranlagen	984
42.4.4	Biologische Verfahren für unverdünntes Sickerwasser	985
42.4.4.1	Aerobe Belebtschlammverfahren	985
42.4.4.2	Druckbiologie mit Ultrafiltration	986
42.4.4.3	Anaerobe Verfahren	986
42.4.4.4	Pflanzenklärsysteme	986
42.4.5	Weitergehende Verfahren zur Sickerwasserreinigung	988
42.4.5.1	Fällung/Flockung	988
42.4.5.2	Aktivkohle-Adsorption	989
42.4.5.3	Umkehrosmose (UO)	990
42.4.5.4	Physikalisch-chemische Oxidation	991
42.4.5.5	Thermische Verfahren	993
42.4.6	Zusammenfassung – Verfahrenskombinationen	994
42.4.6.1	Prinzipielle Möglichkeiten mit Biologie als erster Stufe	996
42.4.6.2	Biologie/UO/Eindampfung/Trocknung	998
42.4.6.3	Druckbiologie/UF/Nanofiltration mit chemisch-physikalischen Verfahren im Konzentratkreislauf	998
42.4.6.4	Verfahren ohne biologische Vorstufe	1001
42.4.6.5	Kostenvergleich	1002
43	Deponiegas	1003
43.1	Einführung und Definition	1003
43.2	Deponiegasentstehung und -entwicklung	1004
43.3	Einflussfaktoren für die Gasbildung	1005
43.4	Deponiegasmenge, -zusammensetzung und -eigenschaften	1006
43.5	Entgasungsmaßnahmen	1008
43.5.1	Ziele der Entgasung	1009
43.5.2	Natürliche Entgasung	1009

43.5.3	Technische Zwangsentgasung	1010
43.5.3.1	Horizontale Gaserfassung	1011
43.5.3.2	Vertikale Systeme	1011
43.5.4	Problematik der Restemission	1013
43.6	Deponiegasaufbereitung und Nutzung	1014
43.6.1	Einflussfaktoren bezüglich der Nutzung	1014
43.6.2	Nutzungsvarianten und Anforderungen	1016
43.6.3	Wirtschaftlicher Vergleich der Nutzungsvarianten	1017
43.6.4	Deponiegasaufbereitung	1019
44	Altlastenerkundung	1021
44.1	Einführung und Definition	1021
44.2	Umfang und Aufriß des Problems	1023
44.2.1	Anzahl der Verdachtsflächen	1023
44.2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen – Bodenschutzgesetz	1024
44.2.2.1	Teil I: Zweck, Begriffe, Anwendungsbereich (§§ 1 bis 3 BBodSchG)	1025
44.2.2.2	Teil II: Grundpflichten der Gefahrenabwehr und Vorsorge (§§ 4 bis 10 BBodSchG)	1025
44.2.2.3	Teil III: Altlastenmanagement (§§ 11 bis 16 BBodSchG)	1026
44.2.2.4	Teil IV: Güte fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung (§17 BBodSchG)	1026
44.2.2.5	Teil V: Schlußvorschriften (§§ 18 bis 26 BBodSchG)	1027
44.2.3	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	1027
44.2.4	Finanzielle Fragen	1030
44.3	Erfassung und Bewertung von Verdachtsflächen	1032
44.3.1	Ablaufpläne	1032
44.3.2	Entdeckung und Vorerkundung	1037
44.3.3	Erfassung der Verdachtsfläche und Erstbewertung	1037
44.3.4	Standortuntersuchung und Analytik	1039
44.3.4.1	Bodenparameter	1039
44.3.4.2	Schadstoffanalytik	1040
44.3.5	Gefährdungsabschätzung	1041
44.3.6	Modellgliederung für eine Altlastbegutachtung	1046
44.4	Sanierungsvorbereitung	1046
44.4.1	Sanierungsziele	1046
44.4.2	Sanierungsuntersuchung	1049
44.4.3	Kriterien zur Auswahl der Maßnahmen	1049
44.4.4	Sanierungsplan und Projektmanagement	1051
45	Sanierung von Altlasten	1053
45.1	Sicherung von Altlasten	1055
45.2	Dekontamination von Altlasten – Übersicht	1057
45.2.1	In-situ-Verfahren	1059
45.2.1.1	Anwendung und Grenzen	1059
45.2.1.2	Hydraulische Maßnahmen – Grundwassersanierung	1059
45.2.2	On-site-Verfahren	1060
45.2.3	Off-site-Verfahren	1061
45.2.4	Genehmigung von Sanierungsanlagen nach BImSchG	1061
45.2.5	Verfahrensübersicht	1062
45.2.5.1	Mikrobiologische Verfahren	1063
45.2.5.2	Bodenluftabsaugung, Dampfstrippen	1063
45.2.5.3	Extraktionsverfahren	1064
45.2.5.4	Thermische Verfahren	1064
45.2.5.5	Mischen mit Zuschlagsstoffen	1064
45.3	Biologische Altlastsanierung	1065
45.3.1	Voraussetzungen für den Sanierungserfolg	1065

45.3.2	Sanierungsverfahren	1068
45.3.2.1	In-situ-Sanierungen	1068
45.3.2.2	Ex-situ-Sanierung in Mieten (statisch)	1072
45.3.2.3	Ex-situ-Sanierung in Reaktoren (dynamisch)	1073
45.4	Extraktive chemische und mechanisch-physikalische Verfahren	1073
45.4.1	Bodenluftabsaugung	1074
45.4.1.1	Konventionelle Absaugung über Lanzen	1074
45.4.1.2	Biopuster®-Verfahren	1075
45.4.1.3	Absaugung bei niedrigen Grundwasserständen	1076
45.4.2	Mechanisch-physikalische Bodenwäsche	1077
45.4.3	Hochdruckwasserstrahl-Verfahren	1078
45.4.4	Suspensions-Strip-Verfahren	1078
45.4.5	Gegenstromextraktion mit Lösungsmittel	1079
45.5	Thermische Altlastsanierung	1081
45.5.1	Verbrennung im direkt befeuerten Drehrohr	1082
45.5.2	Schadstoffaustrrieb im indirekt beheizten Drehrohr	1084
45.5.3	Sinterband und Wanderrost zum Pelletbrennen	1085
45.5.4	Wirbelschichtverfahren	1086
45.5.5	Flugstromverfahren	1087
45.5.6	Hochtemperaturverfahren mit Plasmabrenner	1087
45.5.7	Desorption mit überhitztem Dampf	1087
45.6	Sanierungserfolg	1089
46	Biomüllkompostierung	1091
46.1	Historische Entwicklung, rechtlicher Rahmen	1092
46.2	Kompostierungsvorgang	1093
46.3	Einflußfaktoren auf den Kompostierungsvorgang	1096
46.3.1	Nährstoffverhältnis	1096
46.3.2	Wassergehalt und Wasseraktivität	1096
46.3.3	Sauerstoffversorgung	1097
46.3.4	Temperatur	1097
46.3.5	pH-Wert	1099
46.4	Kompostierungsanlagen und -techniken	1099
46.4.1	Aufbereitung des Rohkompostes	1100
46.4.2	Rotte in Mieten (Haufwerk)	1102
46.4.2.1	Aktive Mietenbelüftung	1102
46.4.2.2	Saug- oder Druckbelüftung?	1104
46.4.2.3	Sauerstoffflanzen	1106
46.4.2.4	Mietenabdeckung	1106
46.4.3	Zeilen-/Tunnelkompostierung	1107
46.4.4	Statische Rottezellen/-boxen/-container	1107
46.4.5	Dynamische Rottreaktoren	1108
46.4.6	Brikollare-Technik	1109
46.4.7	Aufbereitung zu Fertigkompost	1109
46.5	Umweltrelevanz und Arbeitsschutz	1110
46.5.1	Hygienische Aspekte	1110
46.5.1.1	Biomüllerrfassung	1110
46.5.1.2	Kompostierungsanlagen	1111
46.5.2	Geruchsbelästigung	1113
46.5.2.1	Was ist Geruch?	1113
46.5.2.2	Geruchsquellen im Kompostwerk	1113
46.5.2.3	Messung von Gerüchen	1115
46.5.2.4	Bewertung und Interpretation von Geruchsmessungen	1118
46.5.2.5	Emissionsbegrenzungen und Anlageneignung	1119
46.5.2.6	Maßnahmen zur Emissionsminderung	1120
46.5.3	Sickerwasser und Kondensate	1121
46.6	Qualitätskriterien	1123
46.6.1	Probennahme, -aufbereitung und Parameterübersicht	1124

46.6.2	Seuchenhygienische Unbedenklichkeit	1125
46.6.3	Rottegrad	1129
46.6.4	Gehalt an organischer Substanz	1130
46.6.5	Wassergehalt und Wasserhaltekapazität	1130
46.6.6	Korngrößenverteilung und Volumengewicht	1130
46.6.7	Ballaststoffe	1131
46.6.8	Gehalt löslicher Salze	1131
46.6.9	Nährstoffe und pH-Wert, Pflanzenverfügbarkeit	1131
46.6.10	Schadstoffbelastung	1133
46.6.11	Qualitätskriterien	1135
46.6.11.1	Richtlinien der Komposterzeuger	1135
46.6.11.2	LAGA-Merkblatt M 10	1135
46.6.11.3	Bioabfall- und Kompostverordnung (BioAbfV)	1138
46.7	Kompostverwendung	1143
46.7.1	Landwirtschaft	1144
46.7.2	Substratherstellung	1145
46.7.3	Kompostvermarktung	1145
47	Anaerobverfahren und biologische Restmüllbehandlung	1147
47.1	Anaerobe Fermentation	1147
47.2	Mikrobiologische Grundlagen	1147
47.3	Verfahrenstechnische Grundlagen	1151
47.3.1	Materialinput	1151
47.3.2	Einstufige und mehrstufige Verfahren	1152
47.3.3	Trocken- oder Naßfermentation	1156
47.3.4	Meso- oder thermophile Reaktionstemperaturen	1156
47.3.5	Kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Prozeß	1156
47.3.6	Art der Umwälzung im Gärreaktor	1157
47.4	Verfahrenstechnische Beispiele	1157
47.4.1	BTA-Verfahren: Zweistufige Naß-Fermentation	1157
47.4.2	IMK-Verfahren: Zweistufig mit aerober Hydrolyse	1160
47.4.3	ATF-Verfahren: Trockenfermentation	1160
47.5	Biogasgewinnung und Emissionen	1160
47.6	Kombination und Vergleich von aeroben und anaeroben Verfahren	1163
47.7	Mechanisch-biologische Abfallvorbehandlung (MBA)	1165
47.7.1	Anforderungen der TASI	1165
47.7.2	Anforderungen des KrW-/AbfG: Verwerten vor Beseitigen	1167
47.7.3	Konzepte und Anforderungen der MBA	1168
47.7.3.1	Verfahrenstechnische Grundzüge	1168
47.7.3.2	Beispiel: Kaminzugverfahren	1168
47.7.3.3	Beispiel: Mechanisch-biologisches Stabilatverfahren (MBS)	1172
47.7.3.4	Beispiel: Aerob-anaerob-Kombination (3A-Verfahren)	1174
47.7.3.5	Emissionen	1176
47.7.4	Stellenwert der MBA im integrierten Entsorgungskonzept	1178
48	Müllverbrennung	1183
48.1	Historische Entwicklung	1183
48.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	1184
48.2.1	TA Siedlungsabfall (TASI) und Genehmigungsrecht (1993)	1184
48.2.2	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (1996)	1185
48.2.3	EU-Richtlinien	1186
48.3	Das politisch-wissenschaftliche Spannungsfeld	1186
48.3.1	Argumente für Müllverbrennung	1188
48.3.2	Argumente gegen Müllverbrennung	1188
48.3.3	Müllverbrennung oder Getrennsammlung?	1189
48.3.4	Wie viele zusätzliche MVA?	1190
48.4	Haus-/Restmüll als Brennstoff – Verbrennungsvorgänge – Energiegewinn	1193

48.5	Technik der Müllverbrennung	1194
48.5.1	Übersicht einer MVA und unterschiedlicher Verfahren	1195
48.5.2	Rostsysteme	1197
48.5.3	Systeme mit Drehrohrofen	1203
48.5.4	Etagenöfen	1205
48.5.5	Wirbelschichttechnik	1205
48.5.6	Verbrennung im Gasplasma – Pyroarc-Verfahren	1214
48.5.7	Zusammenfassung	1217
48.6	Abfallverwertung in Industrieanlagen oder Kraftwerken	1217
48.6.1	Genehmigungsrechtlicher Rahmen	1218
48.6.2	Brennstoffeigenschaften	1220
48.6.3	Nutzung in Kraftwerken	1221
48.6.4	Nutzung in Zementöfen	1222
49	Umweltverträglichkeit von MVA	1223
49.1	Müllbelastung, Rohgaskonzentrationen	1224
49.2	Emission von Schwermetallen	1225
49.3	Emission von Dioxinen, Furanen und anderen organischen Problemstoffen	1226
49.3.1	Ursachen der PCDD/F-Emission aus MVA	1227
49.3.2	PCDD/F-Minimierter MVA-Betrieb	1229
49.3.3	Andere Dioxinquellen	1230
49.3.4	Toxikologische Relevanz	1230
49.4	Bestimmungen der 17. BImSchV (1990)	1231
49.4.1	Geltungsbereich und Emissionsgrenzwerte	1231
49.4.2	Anforderungen an die Anlieferung und Zwischenlagerung der Einsatzstoffe (§ 3)	1233
49.4.3	Anforderungen an die Feuerungsbedingungen (-parameter) (§ 4)	1234
49.4.4	Behandlung von Abfällen aus der MVA (§ 7)	1235
49.4.5	Überwachungsmessungen (§§ 9 bis 16)	1235
49.5	Rauchgasreinigung (RGR) bei MVA	1236
49.5.1	Nasse Gaswäsche	1238
49.5.2	Trockene Sorption (TSV)	1239
49.5.3	Quasitrockene Sorption (QTV) – Sprühabsorption	1240
49.5.4	Komplettes RGR-System einer modernen MVA	1240
49.6	Feste Rückstände der Müllverbrennung – Aufbereitung, Verwertung, Entsorgung	1243
49.6.1	Mengen fester MVA-Rückstände	1244
49.6.2	Art des Schlackeaustrags (Rostabwurf)	1244
49.6.3	Aufbereitung und Inertisierung der Schlacke	1246
49.6.3.1	Wert- und Schadstoffentfrachtung	1246
49.6.3.2	Schadstoffimmobilisierung	1246
49.6.4	Eigenschaften und Entsorgung der Schlacke	1247
49.6.4.1	Eluatbelastung	1248
49.6.4.2	Verwertung	1248
49.6.4.3	Ablagerung	1249
49.6.5	Behandlung und Entsorgung von Stäuben und RGR-Produkten	1251
50	Thermische Verfahren ohne Sauerstoff	1253
50.1	Pyrolyse	1254
50.1.1	Pyrolysevorgang	1254
50.1.2	Produkte und Rückstände der Pyrolyse	1256
50.2	Pyrolyseverfahren (für Hausmüll)	1257
50.2.1	DBA-Verfahren	1258
50.2.2	PKA-Verfahren	1259
50.2.3	Schwel-Brenn-Verfahren (Siemens/KWU)	1260
50.2.4	Konversionsverfahren	1262
50.2.5	Thermoselect	1265
50.2.6	Verfahrensvergleich	1267

50.3	Vergleich zur Müllverbrennung	1272
50.4	Niedertemperaturkonvertierung	1273
50.4.1	Verfahrensablauf	1273
50.4.2	Produkte und Ausbeuten	1274
50.4.3	Energiebilanz	1275
51	Gefahrstoffe	1277
51.1	Chemikalien- und Gefahrstoffrecht	1277
51.1.1	Chemikaliengesetz (ChemG, 1994)	1279
51.1.2	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, 1993)	1280
51.1.3	Technische Regeln – TRGS	1280
51.1.4	Gefahrstoffbegriff	1284
51.2	Ordnungsmerkmale und Kennzeichnungen	1287
51.2.1	Klassifizierungen und Stofflisten	1287
51.2.1.1	Wassergefährdungsklassen (vgl. Kapitel 12)	1287
51.2.1.2	Gefahrenklassen aufgrund von Brennbarkeit oder Explosibilität	1288
51.2.2	Schlüsselnummern	1289
51.2.3	Gefahrstoffsymbole und Gefahrenhinweise (R-Sätze)	1289
51.3	Grenz- und Richtwerte	1293
51.3.1	Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK)	1294
51.3.2	Technische Richtkonzentrationen (TRK)	1294
51.3.3	Biologische Arbeitstoleranzwerte (BAT)	1295
51.3.4	Weitere Orientierungswerte	1295
51.3.5	Besondere Risiken	1296
51.4	Handhabung, Arbeitsschutz	1297
51.4.1	Sicherheitsratschläge (S-Sätze) und Warnsymbole	1297
51.4.2	Sicherheitsdatenblatt	1299
51.4.3	Informationen für die Beschäftigten	1303
51.4.3.1	Betriebsanweisung	1303
51.4.3.2	Unterweisung	1318
51.4.4	Gefahrstoffkataster	1318
51.5	Lagerung	1320
51.5.1	Sicherheitsdatenblatt, TRGS 220	1321
51.5.2	TRGS 514 – Lagerung (sehr) giftiger Stoffe	1322
51.5.2.1	Anwendungsbereich (Nr. 1)	1322
51.5.2.2	Begriffsbestimmungen (Nr. 2)	1322
51.5.2.3	Sicherheitstechnische Maßnahmen (Nr. 3)	1322
51.5.2.4	Betriebsvorschriften (Nr. 4)	1325
51.5.2.5	Persönliche Schutzausrüstung, hygienische Maßnahmen, Rettungseinrichtungen und Erste Hilfe (Nrn. 5 bis 7)	1326
51.5.2.6	Gefahren bei Bränden (Anhang)	1326
51.5.3	TRGS 515 – Lagerung brandfördernder Stoffe	1326
51.5.3.1	Anwendungsbereich (Nr. 1)	1327
51.5.3.2	Begriffsbestimmungen (Nr. 2)	1327
51.5.3.3	Sicherheitstechnische Maßnahmen (Nr. 3)	1327
51.5.3.4	Brandschutz (Nr. 4)	1328
51.5.4	Lagerung brennbarer Flüssigkeiten (VbF und TRbF)	1329
51.5.5	VCI-Lagerklassenkonzept	1330
52	Beförderung von gefährlichen Stoffen – Gefahrgüter	1341
52.1	Gefahrgutbeförderung auf der Straße (GGBefG, ADR, GGVS)	1342
52.1.1	Anlagen, Anhänge, Randnummernsystem des ADR – Übersicht	1343
52.1.2	Begriffsbestimmungen und allgemeine Vorschriften (Anlage A, Rn. 20xx)	1344
52.1.3	Gefahrgutklassifizierung (Anlage A, Rn. 21xx bis 29xx)	1345
52.1.4	Verpackungsvorschriften (Anlage A, Anhänge A.5 (Rn. 35xx) und A.6 (Rn. 6xx))	1346
52.1.5	Vorschriften für Gefahrzettel (Anlage A, Anhang A.9 (Rn. 39xx))	1348
52.1.6	Allgemeine Vorschriften für die Beförderung (Anlage B, I. Teil (Rn. 10xxx))	1348

52.1.7	Sondervorschriften für die Beförderung (Anlage B, II. Teil (Rn. 11xxx bis 91xxx))	1354
52.1.8	Stoffe mit Fahrwegbestimmung (Anlage 1 der GGVS)	1354
52.1.9	Begleitpapiere (Rn. 10 381 und spezifische Ergänzung xx381)	1355
52.1.10	Ausnahmeregelungen [52.6]	1356
52.1.10.1	Allgemeine Regelungen	1356
52.1.10.2	Freistellung für eigene private Zwecke	1356
52.1.10.3	Sonderregelungen für kleinere Verpackungen (a-Randnummern)	1356
52.1.10.4	Freistellungsgrenzen für Versandstücke (Rn. 10 011)	1357
52.1.10.5	Weitere Freistellungen	1358
52.1.11	Systematisches Vorgehen	1358
52.2	Gefahrgutbeauftragte und sonstige Verantwortliche	1358
52.2.1	Verantwortliche gemäß § 9 GGVS	1358
52.2.2	Gefahrgutbeauftragte	1359
52.2.3	Beauftragte Personen	1360
53	Sondermüllvermeidung	1361
53.1	Zum Begriff Sondermüll; Rechtliche Verweise	1361
53.2	Herkunft und Ursachen	1362
53.3	Vermeidung und Verwertung in geschlossenen Systemen und Verwertungskaskaden	1366
53.3.1	Beispiel einer Verwertungskaskade: TiO ₂ -Herstellung	1368
53.3.1.1	Chlorverfahren	1368
53.3.1.2	Sulfatverfahren	1369
53.3.2	Beispiele für Kreislaufschließung: Oberflächenbearbeitung und -veredlung	1371
53.3.2.1	Mechanische Bearbeitung	1372
53.3.2.2	Reinigung	1373
53.3.2.3	Oberflächenvorbehandlung	1374
53.3.2.4	Oberflächenbeschichtung: Lackierung	1375
53.3.2.5	Oberflächenbeschichtung: Galvanik	1377
53.4	Abfallkataster	1381
53.4.1	Betriebliche Abfallkataster und -wirtschaftskonzepte	1382
53.4.2	Gewerbeabfallkataster	1383
54	Sonderabfallentsorgung	1389
54.1	Sondermüllanfall und -zwischenlagerung	1389
54.2	Vorbehandlung und Beseitigung	1392
54.2.1	Chemisch-physikalisch-biologische Vorbehandlung (CPB)	1394
54.2.1.1	Typische Probleme, die eine CPB erfordern	1394
54.2.1.2	Verfahren der CPB	1394
54.2.2	Beseitigung	1399
54.2.2.1	Identifikation vor der Beseitigung	1399
54.2.2.2	Obertägige Hochsicherheitsdeponie – Multibarrierensystem	1400
54.2.2.3	Untertagedeponie	1403
54.2.2.4	Sonderabfallverbrennung (SAV)	1413
54.3	Überkapazitäten	1418
55	Kommunaler Klärschlamm – Behandlung	1421
55.1	Schlammbezeichnungen und Kenngrößen	1421
55.1.1	Trockenmassekonzentration (bzw. Trockensubstanz TS)	1423
55.1.2	Trockenrückstand TR	1423
55.1.3	Schlammvolumen V _s	1424
55.1.4	Schlammindex (ISV)	1425
55.2	Schlammmenge und Beschaffenheit	1425
55.2.1	Kommunaler Klärschlammfall	1425
55.2.2	Physikalische und chemische Kenndaten	1426
55.2.3	Schadstoffbelastungen des Klärschlammes	1426
55.2.4	Hygienische Bedenken	1429

55.3	Stabilisierung von Klärschlämmen	1430
55.3.1	Anaerobe (mesophile) Schlammfäulung	1431
55.3.2	Aerobe Stabilisierung	1434
55.3.2.1	Simultane Stabilisierung	1434
55.3.2.2	Getrennte Stabilisierung	1435
55.3.2.3	Aerob-thermophile Stabilisierung in Reaktoren	1435
55.3.2.4	Kompostierung	1437
55.3.3	Weitere Verfahren und Verfahrenskombinationen	1438
55.3.3.1	Enzymatische Stabilisierung	1438
55.3.3.2	Chemolyse	1438
55.3.3.3	Verfahrenskombinationen	1439
55.3.4	Teilaspekt: Desinfektion	1439
55.4	Wasserentzug	1443
55.4.1	Einflüsse auf die Entwässerbarkeit	1444
55.4.2	Beurteilung von Klärschlammeigenschaften	1447
55.4.3	Konditionierung vor der Entwässerung	1448
55.4.3.1	Organische Flockungshilfsmittel (FHM)	1449
55.4.3.2	Konditionierung bei Kammerfilterpressen	1451
55.4.3.3	Konditionierung bei Zentrifugen	1452
55.4.3.4	Konditionierung bei Bandfilterpressen	1452
55.4.4	Zusammenhang zwischen TR-Erhöhung und Volumenreduktion	1452
55.4.5	Physikalische Entwässerung stabilisierter Schlämme	1452
55.4.6	Thermische Trocknung vorentwässerter Schlämme	1454
55.4.6.1	Vollentwässerung auf >90% TR	1455
55.4.6.2	Trocknervarianten	1456
56	Klärschlamm Entsorgung	1459
56.1	Stoffliche Verwertung	1461
56.1.1	Landwirtschaftliche Nutzung	1461
56.1.1.1	Schwermetallbelastung	1463
56.1.1.2	Organische Problemstoffe	1464
56.1.1.3	Klärschlammverordnung (AbfKlärV)	1466
56.1.2	Klärschlammkompostierung und -vererdung	1470
56.1.3	Landschaftsbauliche Nutzung	1473
56.1.4	Alternative stoffliche Verwertungen	1474
56.2	Energetische Verwertung	1475
56.2.1	Klärschlammverbrennung	1475
56.2.2	Pyrolyse und Niedertemperaturkonvertierung	1479
56.2.3	Na ₂ O ₂ -Oxidation – VerTech-Verfahren	1479
56.3	Beseitigung auf Deponien	1481
56.4	Kostentendenzen	1482
56.5	Fäkalschlamm	1484
Teil 4:	Lärm	1487
57	Mathematisch-physikalische Grundlagen des Schallschutzes	1489
57.1	Begriffsklärungen	1489
57.1.1	Schall	1489
57.1.2	Interferenz	1489
57.1.3	Ton und Klang	1491
57.1.4	Lärm	1491
57.2	Allgemeine Grundlagen	1492
57.2.1	Betrachtung eines Sinustones	1492
57.2.2	Schalleistung, -druck und -intensität	1493
57.2.3	Menschliches Hörvermögen	1494
57.3	Quantitative Erfassung der Schallintensität – Dezibel	1494
57.3.1	Rechnen mit Dezibel	1496

	57.3.1.1	Addition zeitlich konstanter und gleicher Schallpegel	1497
	57.3.1.2	Addition zeitlich konstanter, aber ungleicher Pegel	1498
57.4		Die Frequenzeinteilung in Oktaven und Terzen	1500
57.5		Kann man Empfindungen messen? – Audiometrie	1503
57.6		Lautstärkeempfindung	1507
	57.6.1	Begriffsklärungen	1507
	57.6.2	Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung	1507
	57.6.3	Lästigkeitsempfindung	1508
57.7		Bewertete Schallpegel	1510
	57.7.1	A-Bewertung, dB(A)	1510
	57.7.2	ISO-Grenzkurvenbewertung	1512
	57.7.3	Bewertung mit Hilfe der Lautheit	1513
	57.7.4	Grenzwertfindung	1514
57.8		Halbierungsparameter und Bewertungsfaktor	1514
57.9		Zeitlich variable Schallpegel	1515
	57.9.1	Mittelungspegel L_m bzw. L_{Aeq}	1516
	57.9.2	Taktmaximalpegel-Verfahren (TMPV); Wirkpegel	1518
	57.9.3	Vereinfachte Pegelmittelung	1521
	57.9.4	Beurteilungspegel L_r	1522
	57.9.4.1	Beurteilungszeit	1522
	57.9.4.2	Zuschlag K_T für Ton- und Informationshaltigkeit	1523
	57.9.4.3	Zuschlag K_I für Impulshaltigkeit	1523
	57.9.4.4	Abschlag für Fremdgeräusche	1523
	57.9.4.5	Zuschlag für Ruhezeiten	1524
	57.9.4.6	Tonzuschlag und Zeitkorrektur nach Baulärmschutzgesetz	1524
	57.9.4.7	24-Stunden-Beurteilungspegel für Straßenverkehrslärm	1524
58		Rechtliche Grundlagen, Messung von Schall	1527
58.1		Rechtliche Grundlagen	1527
	58.1.1	Gewerblicher Lärm in seiner Auswirkung auf die Nachbarschaft – TA Lärm	1528
	58.1.2	Lärm am Arbeitsplatz	1530
	58.1.3	Straßenverkehrslärm	1534
	58.1.4	Weitere Lärmbereiche	1536
58.2		Messung von Schall	1536
	58.2.1	Anlagenlärm in der Nachbarschaft	1538
	58.2.1.1	Meßvorschriften der TA Lärm	1538
	58.2.1.2	Meßprotokoll	1539
	58.2.2	Lärm am Arbeitsplatz	1549
	58.2.3	Verkehrslärm	1550
	58.2.3.1	Konventionen für die Pegelberechnung	1552
	58.2.3.2	Berechnung eines Straßen-Emissionspegels	1553
59		Schallschutzmaßnahmen	1557
59.1		Schallausbreitung	1560
59.2		Primärer (konstruktiver) Schallschutz	1561
	59.2.1	Verringerung der Stärke der Anregung	1562
	59.2.2	Beeinflussung des zeitlichen Verlaufs der Anregung	1563
	59.2.3	Verringerung der Körperschallfortleitung und Schallabstrahlung	1564
59.3		Sekundärer Schallschutz	1565
	59.3.1	Luftschalldämpfung (Absorption)	1567
	59.3.1.1	Poröse Absorber (Höhenabsorber)	1570
	59.3.1.2	Resonanzabsorber, Lochplatten (Mittenabsorber)	1571
	59.3.1.3	Plattenabsorber (Tiefenabsorber)	1572
	59.3.1.4	Schalldämpfer	1572
	59.3.2	Schalldämmung (Reflexion)	1572
	59.3.2.1	Schalldämmmaß R und Bauschalldämmmaß R'	1573
	59.3.2.2	Bewertetes Schalldämmmaß R_w , Luftschallschutzmaß LSM	1575

59.3.2.3	Einschalige Bauteile, Massengesetz	1577
59.3.2.4	Zweischalige Bauteile	1579
Teil 5: Fachübergreifendes Verwaltungs- und Umweltrecht, Umweltmanagement		1583
60	Allgemeine Rechtsstruktur und Verwaltungsrecht	1585
60.1	Nationale Rechtsstruktur	1585
60.1.1	Bundes- und Landesrecht	1585
60.1.2	Gesetze und Verordnungen	1585
60.1.3	Verwaltungsvorschriften und Technische Regeln	1586
60.1.4	Einwirkungen des Europarechtes	1586
60.2	Öffentliches Recht	1587
60.3	Allgemeines Verwaltungsrecht	1590
60.3.1	Verwaltungsverfahren und Verwaltungsakt	1591
60.3.2	Beteiligte eines Verwaltungsverfahrens	1594
60.3.3	Rechtsfolgen eines Verwaltungsaktes	1595
60.3.4	Planfeststellungsverfahren	1596
60.4	Vorbeugender Umwelt- bzw. Immissionsschutz	1597
60.4.1	Raumordnungspläne	1597
60.4.2	Bauleitplanung als vorbeugender Immissionsschutz (BlmSchG und BauGB)	1598
60.4.2.1	Flächennutzungsplan (F-Plan bzw. FNP)	1599
60.4.2.2	Bebauungsplan (B-Plan)	1599
60.4.2.3	Vorhaben- und Erschließungsplan (VuE-Plan)	1601
60.4.2.4	Bauordnung und Bauaufsicht	1602
61	Weitere fachübergreifende Regelungen im Umweltbereich	1605
61.1	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)	1605
61.2	Umwelthaftungsgesetz (UmweltHG)	1607
61.3	Umweltinformationsgesetz (UIG)	1609
61.4	Umwelstatistikgesetz (UStarG)	1610
61.5	Umweltstrafrecht (§§ 324 ff. StGB)	1611
61.6	Europarecht	1613
62	Betriebliches Umweltmanagement	1617
62.1	Ökobilanzen, Öko-Controllings und Produktlinienanalysen	1617
62.1.1	Begriffliche Abgrenzung und Ziele	1617
62.1.2	Produktbezogene Ökobilanz	1619
62.1.2.1	Elemente der Bilanz	1619
62.1.2.2	Grundsätze der Durchführung und Beurteilung	1621
62.1.3	Öko-Controlling	1623
62.2	Normgebung als Instrument des Umweltschutzes	1624
62.2.1	Gremien im DIN	1627
62.2.2	Leitfaden einer umweltgerechten Normgebung	1627
62.2.3	Normung des Umweltmanagements – DIN EN ISO 14 001 ff.	1629
62.3	EU-Öko-Audit	1633
62.3.1	Begriff und Ziele des Öko-Audits	1634
62.3.2	Durchführung eines Audits	1636
62.3.3	Unabhängige Umweltgutachter	1640
62.3.4	Nutzen des Audits für das Unternehmen	1641
62.3.5	Erfahrungen mit dem Öko-Audit	1642
62.3.6	Novellierung der EMAS-Verordnung	1644
62.4	Betriebsbeauftragte	1645
62.5	Kriterien für ganzheitliches Umweltmanagement	1646
62.5.1	Gute Umwelt-Managementpraktiken	1649
62.5.2	Organisation des Umweltmanagements	1652

62.5.3	Kriterien für die ASU-Auszeichnung für umweltbewußte Unternehmensführung	1653
62.5.4	Checklisten	1654
62.5.5	Kybernetische Prinzipien und ökologische Unternehmensführung	1655
	Fachliche Abkürzungen	1659
	Formelzeichen und Einheiten	1669
	Glossar	1673
	Adressenverzeichnis	1679
	Quellenverzeichnis	1687
	Stichwortverzeichnis	1753