

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	47
2.2 Trinkwassergewinnung	52
2.2.1 Grundwasserbilanz	53
2.2.2 Uferfiltrat	54
2.2.3 Künstliche Grundwasseranreicherung	55
2.2.4 Wasserschutzgebiete	56
3 Aufbereitung zu Trinkwasser	59
3.1 Konventionelle Aufbereitung von Grundwasser	59
3.1.1 Gasaustausch	59
3.1.2 Enteisung und Entmanganung	61
3.1.2.1 Enteisung	62
3.1.2.2 Entmanganung	63
3.1.2.3 Zusammenfassung	64
3.2 Filtration	64
3.2.1 Grundgrößen	65
3.2.2 Einflußgrößen auf den Energieaufwand	65
3.2.3 Filtrerrückspülung	67
3.2.4 Ausführungsformen	68
3.3 Weitergehende Aufbereitung von Oberflächenwasser	70
3.3.1 Beispiel: Donauwasseraufbereitung	71
3.4 Nitrat im Trinkwasser	73
3.4.1 Maßnahmen zur Nitratreduktion	74
3.4.2 Biologische Denitrifikation	75
3.4.3 Katalytische Verfahren	76
3.4.4 Chemisch-physikalische Verfahren	77
3.5 Desinfektion von Trinkwasser	77
3.5.1 Biologische Verfahren	78
3.5.2 Chemische Verfahren	78

Der Onlineservice InfoClick bietet unter
www.vogel-buchverlag.de nach Codeeingabe zusätzliche
Informationen und Aktualisierungen.

InfoClick

306005930005

3.5.2.1	Chlorungsverfahren	78
3.5.2.2	Ozonisierung	80
3.5.3	Physikalische Verfahren – UV-Bestrahlung	81
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
5	Wasserrecht	89
5.1	Art der Einleitung	91
5.1.1	Direkteinleiter	91
5.1.2	Indirekteinleiter	91
5.2	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	93
5.2.1	Erlaubnis und Bewilligung	93
5.2.2	§ 7a WHG, «Stand der Technik» und «beste verfügbare Technik»	94
5.2.3	Novellierungsinhalte des WHG 1996	96
5.2.4	Grundwasserverordnung zum § 6a WHG	97
5.3	Abwasserverordnung (AbwV) zum § 7a WHG	99
5.3.1	Anhang 1: Kommunales Abwasser	100
5.3.2	Anhang 40: Metallbe- und -verarbeitung	102
5.4	Abwasserabgabengesetz (AbwAG)	105
5.5	Indirekteinleiter-Bestimmungen	108
5.5.1	Indirekteinleiter-Verordnungen – Beispiel BaWü	108
5.5.2	ATV-Arbeitsblatt A 115	110
5.6	Wassergefährdende Stoffe	110
5.7	Eigenkontrolle/Selbstüberwachung – Beispiel Hessen	110
5.8	(Gewerbe-) Abwasserkataster	111
5.9	EG-/EU-Vorgaben	112
5.9.1	Richtlinie zur Behandlung kommunaler Abwässer	114
5.9.2	Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	116
6	Abwasserinhaltsstoffe	119
6.1	Grobe Einteilung	119
6.2	Probennahme, -transport und -aufbewahrung	119
6.3	Parameter zur Kennzeichnung von (kommunalen) Abwässern	122
6.3.1	Absetzbare Stoffe	122
6.3.2	Temperatur	123
6.3.3	Organoleptische Parameter (Sinnesprüfung)	123
6.3.4	Elektrische Leitfähigkeit	123
6.3.5	pH-Wert	124
6.3.6	Gehalt an gelöstem Sauerstoff (O ₂)	124
6.3.7	Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅ , engl.: BOD ₅)	124
6.3.8	Biochemischer Abbau als Steuerungsparameter	127
6.3.8.1	BSB-M3-Verfahren	127
6.3.8.2	Kontinuierliche Erfassung des biochemischen Sauerstoffverbrauches (BSV) und der Belebtschlammrespiration (BSR)	129
6.3.8.3	ARAS-Sensor-BSB	130
6.3.9	Zum Begriff «biologisch abbaubar»	130

6.3.10	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB, engl.: COD)	132
6.3.11	Gegenüberstellung von BSB ₅ und CSB	133
6.3.12	Der biochemische Abbaugrad BSB ₅ : CSB	133
6.3.13	Kontinuierliche CSB-Messung	134
6.3.14	TOC-Bestimmung als Alternative zum CSB	135
6.3.15	Spektraler Absorptionskoeffizient (SAK)	137
6.3.16	Gehalt an Stickstoffverbindungen	137
6.3.17	Gehalt an Phosphorverbindungen	139
6.3.18	Gehalt an Halogenkohlenwasserstoffen (AOX)	140
6.3.19	Fischtoxizität und Bakterientests	140
6.3.20	Übersicht der Kenngrößen (Größenordnungen der Werte)	142
7	Mechanisch-biologische Reinigung kommunaler Abwässer (BSB₅-Abbau)	143
7.1	Abwasserarten und -sammlung	143
7.2	Aufbau und Funktion einer konventionellen kommunalen Kläranlage (KKA) – Übersicht	144
7.3	Mechanischer Anlagenteil	146
7.3.1	Allgemeines zum mechanischen Abscheidvorgang	146
7.3.2	Rechen und Siebe	147
7.3.3	Sandfang	149
7.3.4	Absetzbecken	151
7.3.4.1	Vorklärbecken	151
7.3.4.2	Nachklärbecken	152
7.3.5	Abwasserfiltration	153
7.4	Biologischer Anlagenteil hinsichtlich BSB ₅ -Reduktion	153
7.4.1	Geschichtliche Entwicklung	154
7.4.2	Abbauprinzip und Vergleich von Belebtschlammverfahren und Tropfkörper	155
7.4.3	Belebtschlammverfahren	155
7.4.3.1	Künstliche Belüftung	156
7.4.3.2	Bakterienverlust und -rückführung	157
7.4.3.3	Kenngrößen der Belebtschlammbiologie	158
7.4.3.4	Mikroskopische Beurteilung des Biologiezustandes	159
7.4.3.5	Vor- und Nachteile des Belebtschlammverfahrens	160
7.4.4	Aerobe Festbettreaktoren	160
7.4.4.1	Tropfkörper	161
7.4.4.2	Tauchtropfkörper	164
7.4.4.3	Schwebekörper	165
7.4.4.4	Getauchte Festbetтанlagen	165
7.4.4.5	Biologische Filter	165
7.4.5	Mehrstufige und kombinierte Verfahren	166
7.4.5.1	Kombination von Tropfkörpern mit Belebтанlagen	166
7.4.5.2	Das AB(Adsorptions-/Belebungs-) Verfahren (RWTH Aachen)	168
7.4.6	Maßnahmen zur Verbesserung der Ablaufwerte	170
7.4.6.1	Hydraulische Lastverminderung	173
7.4.6.2	Biologische Frachtverminderung	173
7.4.6.3	Leistungserhöhung der biologischen Stufe	173
7.4.6.4	Nachbehandlung des Ablaufs	174
7.4.7	Störungs- und Sicherheitsanalyse	177
7.5	Schlammbehandlung	182
8	Pflanzenkläranlagen (PKA)	183
8.1	Grundsätzliches, Gemeinsamkeiten	183
8.2	Anlagenbeispiele	184
8.2.1	Wurzelraumverfahren	185
8.2.2	Schilf-Binsen-Anlagen	186
8.2.3	Hydrobotanische Anlagen	186
8.2.4	Subterra-Prinzip	187
8.3	Leistungsfähigkeit	187

8.3.1	Voraussetzungen für PKA-Genehmigung (NRW)	188
8.3.2	Bedenken gegen PKA-Betrieb	188
8.3.3	Abbauleistungen	188
9	Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer – Stickstoffelimination	193
9.1	Nitrifikation	195
9.1.1	Wachstumsraten und Schlammalter	195
9.1.2	Vereinfachte Abbaugleichung	196
9.1.3	Externe Nitrifikantenzüchtung	197
9.2	Biologische Denitrifikation	198
9.2.1	Sauerstofffreiheit und H-Donatoren	199
9.2.2	Vereinfachte Abbaugleichung	199
9.3	Verfahrenstechnische Konzepte	199
9.3.1	Nachgeschaltete Denitrifizierung	200
9.3.1.1	Belebtschlamm als C-Quelle	201
9.3.1.2	Münchener Denitrifikations-Sandfilter mit Methanol als C-Quelle ..	202
9.3.2	Integrierte vorgeschaltete Denitrifizierung	202
9.3.3	Simultane Denitrifikation	203
9.3.4	Nitrifikation/Denitrifikation in einer zweistufigen Belebung	205
9.3.5	Nitrifikation im Batchreaktor (ABR- bzw. SBR-Verfahren)	206
9.3.6	SymBio™-Verfahren – Simultane N-Elimination in der Schlammflocke	208
10	Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer – Elimination von Phosphaten	211
10.1	Phosphat als Nährstoff – Gewässereuthrophierung	211
10.2	Phosphatmengen und deren Begrenzung	212
10.2.1	Phosphatsubstitution in Waschmitteln	213
10.2.2	Stand und Tendenzen der P-Eliminierung	215
10.3	P-Eliminierung durch chemische Fällung	215
10.3.1	Fällmittel	216
10.3.1.1	Eisensalze	216
10.3.1.2	Aluminiumsalze und Tonerde	217
10.3.1.3	Kalk	217
10.3.2	Ort der Fällung in der Kläranlage	219
10.3.2.1	Vorfällung	219
10.3.2.2	Simultanfällung	219
10.3.2.3	Nachfällung	221
10.3.3	Vor- und Nachteile zusammengefaßt	222
10.4	Biologische P-Eliminierung (Bio-P-Prozess)	222
10.4.1	Begriffsklärungen	222
10.4.2	Prinzip des Bio-P-Prozesses	223
10.4.3	Randbedingungen	225
10.4.4	Optimierungsmöglichkeiten und Probleme	226
10.4.5	Verfahrenstechnische Realisierungen	227
10.4.5.1	Hauptstromverfahren	227
10.4.5.2	Nebenstromverfahren	230
10.4.6	Leistungsfähigkeit und Grenzen	232
10.5	Rest-P-Elimination durch Suspensionsfiltration	234
10.6	Phosphorrückgewinnung	235
11	Gewässergüte	237
11.1	Biologische Gewässergüte	237
11.1.1	Saprobienindex (bisher)	240
11.1.2	Saprobienindex nach WRRL	241
11.1.3	Gewässergüteklassen	242
11.2	Biomonitoring	244
11.2.1	Begriffsklärungen	244
11.2.2	Höhere Organismen	245
11.2.3	Algen	245

11.2.4 Mikroorganismen	246
11.3 Chemische Gütebestimmung	246
12 Wassergefährdende Stoffe	251
12.1 Rahmengesetzgebung des WHG	251
12.2 Bestimmung und Klassifizierung wassergefährdender Stoffe (wS)	253
12.2.1 Wassergefährdungsklassen nach VwVwS	253
12.2.2 Brennbare Flüssigkeiten	256
12.2.3 Wassergefährdende Stoffe als Gefahrstoffe und Gefahrgüter	258
12.3 Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gemäß Musteranlagenverordnung (VAwS)	258
12.3.1 Aspekte der wS-Lagerung	260
12.4 Haftung der Anlagenbetreiber	261
12.4.1 Haftung nach § 22 WHG	262
12.4.2 Haftung nach BGB	262
12.4.3 Haftung nach Umwelthaftungsgesetz (UHG)	262
12.5 Straftatbestände und Ordnungswidrigkeiten	262
13 Biologische Industrieabwasserreinigung	265
13.1 Weiterentwicklungen der Aerobverfahren	266
13.1.1 Hochbiologie	266
13.1.2 Biochemische Leistungssteigerung	271
13.1.2.1 Hubstrahlreaktor (HSR)	271
13.1.2.2 Schlaufen-, HCR- und Prallstrahlreaktor	273
13.1.2.3 Hochlastreaktor mit gepackter Säule	279
13.1.2.4 High-Speed-Biologie	280
13.1.3 Festbettreaktoren	281
13.1.3.1 Festbett-Kaskaden(FBK)-Bioreaktor	281
13.1.3.2 Biofiltromat-Verfahren	282
13.2 Anaerobe Abwasserreinigung – Fermentation	282
13.2.1 Mikrobiologische Grundlagen	284
13.2.2 Milieubedingungen	287
13.2.3 Einsatzbereich	288
13.2.4 Verfahrenstechnische Aspekte	289
13.2.4.1 Ein- oder zweistufige Anlage	289
13.2.4.2 Bakterienimmobilisierung	291
13.3 Stand der industriellen Abwasserreinigung	293
14 Ionenaustauscher (IA)	297
14.1 Arten von Ionenaustauschern	297
14.1.1 Kationenaustauscher	299
14.1.2 Anionenaustauscher	299
14.2 Beladung und Regeneration	299
14.2.1 Beladung	300
14.2.2 Regeneration	301
14.2.3 Regenerationszeitpunkt	301
14.3 Auswahl, Verfahren und Kombination von IA-Anlagen	302
14.3.1 Selektivität	302
14.3.2 Kombination zu Austauscherstraßen	304
14.3.3 Verfahrenstechnische Lösungen	305
14.4 Anwendungsbeispiel: Galvanische Spülwässer	307
15 Adsorption	311
15.1 Organische Polymere	311
15.1.1 Adsorberharze	311
15.1.2 Gelextraktion	312
15.1.3 LPR-Retention	312
15.2 Adsorption an Aktivkohle (AK)	313

15.2.1	Eigenschaften und Arten von Aktivkohle	314
15.2.2	Beladung/Adsorption	315
15.2.3	Verfahren der Adsorption	318
15.2.3.1	Einrührverfahren mit PAK	318
15.2.3.2	Filterverfahren mit GAK	318
15.2.3.3	Kombination Adsorption–Biologie	320
15.2.3.4	Flocculationsadsorption	321
15.2.4	Regeneration bzw. Reaktivierung	321
15.3	Einsatz von Braunkohlenkoks (BKK)	325
16	Abwasserfiltration	327
16.1	Klär- und Mikrofiltration	328
16.2	Abwasserfiltration in der kommunalen Abwasserreinigung	331
16.2.1	Abwasserfiltration mit Mehrschicht-Volumenfiltern	332
16.2.2	Flockungsfiltration	332
16.2.3	Biologisch aktivierte Filter	333
16.2.4	Biologisch aktivierte Flockungsfiltration	333
16.2.4.1	Phosphatelimination	334
16.2.4.2	CSB-Elimination	334
16.2.4.3	Restnitrifikation	334
16.2.4.4	Denitrifikation	334
16.2.5	Einsatz von Tuchfiltern	334
16.2.6	Entfernung von Keimen/Krankheitserregern	335
16.3	Filtration industrieller Abwässer	336
16.3.1	Kontinuierliche Raumfiltration	336
16.3.2	Naßfiltration mit Geweben	338
16.3.3	Dynamische Flächenfilter	340
16.3.3.1	Crossflow-(Mikro-)Filtration	340
16.3.4	Mikrofiltration mit keramischen Membranen	341
16.4	Ultrafiltration (UF)	341
16.4.1	Verfahrenstechnische Ausführungen	343
16.4.1.1	Membranen und Module	343
16.4.1.2	Diskontinuierliche UF	345
16.4.1.3	Kontinuierliche UF	346
16.5	Membranbioreaktoren	346
16.5.1	Biomembrat [®] -Verfahren	347
16.5.2	Membranbelevungsverfahren in der kommunalen Abwasserreinigung	349
17	Weitere Membrantrennverfahren	351
17.1	Umkehrosmose (UO) bzw. Reverse Osmose (RO)	351
17.1.1	Osmotischer Vorgang	351
17.1.2	Umkehrung der Osmose	352
17.1.3	Verfahrenstechnische Ausführungen	354
17.1.3.1	Membranen und Module	354
17.1.3.2	Rohwasservorbehandlung	354
17.1.3.3	Verfahrensbeispiele	355
17.2	Pervaporation (PV)	357
17.3	Elektrodialyse (ED)	360
18	Naßoxidation und Desinfektion	363
18.1	Naßoxidation mit Sauerstoff	363
18.1.1	Niederdruckverfahren mit homogener Katalyse (Fe ²⁺)	364
18.1.2	Hochdruckverfahren mit heterogener Katalyse	365
18.2	Naßoxidation und/oder Abwasserdesinfektion mit Oxidantien	365
18.2.1	Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂)	365
18.2.2	Katalytische Spaltung von H ₂ O ₂	366
18.2.3	Ozonisierung	366
18.3	Schadstoffzerstörung durch Bestrahlung	368
18.3.1	UV-C-Bestrahlung	368

18.3.2	Elektronenstrahlen	369
18.3.3	Fotokatalytische Entwicklungen	370
18.4	UV-unterstützte Na ₂ O ₂ -Oxidation	371
18.4.1	UV/O ₃ -Oxidation	372
18.4.2	UV/H ₂ O ₂ -Oxidation	373
18.4.3	Anwendungsbereiche	374
18.4.4	AOX-Neubildung	374
18.5	Abwasserdesinfektion	375
18.5.1	Begriffe und Grundlagen der Desinfektion	376
18.5.2	Rechtliche Situation	377
18.5.3	Quellen der Keime	378
18.5.4	Desinfektionsverfahren	378
18.5.4.1	UV-Bestrahlung	379
19	Neutralisation und Fällung	381
19.1	Neutralisation	381
19.2	Neutralisationsmittel	381
19.2.1	Neutralisation saurer Abwässer	382
19.2.1.1	Neutralisation mit NaOH	382
19.2.1.2	Neutralisation mit Kalk	382
19.2.2	Neutralisation alkalischer Abwässer	382
19.2.2.1	Neutralisation mit Mineralsäuren	382
19.2.2.2	Neutralisation mit CO ₂	383
19.2.3	Dosierung	383
19.3	Verfahren der Neutralisation	383
19.3.1	Chargen-Neutralisation	384
19.3.2	Durchlaufneutralisation	385
19.3.3	Neutralisation im Schnellreaktor	386
19.4	Pufferverhalten des Abwassers	386
19.5	Fällung und Flockung	387
19.5.1	Zur Begrifflichkeit	387
19.5.2	Fällung von Schwermetallen	389
19.5.3	Einsatz von Flockungshilfsmitteln (FHM)	391
20	Flotation	393
20.1	Flotation mit Tauchbelüftern	394
20.2	Vakuum- und Entspannungsflotation	395
20.3	Elektroflotation	396
20.4	Flotation mit integrierter Filtration	397
21	Ölabscheidung und Emulsionsspaltung	399
21.1	Begriffsklärungen	399
21.2	Freie und instabil emulgierte Öle	400
21.2.1	Ölabscheider	401
21.2.2	Koaleszenzabscheider	402
21.2.3	Entsorgung der Abscheiderinhalte	403
21.3	Stabil emulgierte Öle	403
21.3.1	Ultrafiltration	405
21.3.2	Säurespaltung mit Flotation	407
21.3.3	Organische oder anorganische Spaltnittel?	408
21.3.4	Vakuumdestillation und Brüdenverdichtung	408
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_0)	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 Lösemitteleigenschaften	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)	447
25.1.3.6	Konkretisierung der Anforderungen (TA Luft)	447
25.1.3.7	Einschluß anderer Genehmigungserfordernisse (§ 13 BImSchG)	447
25.1.3.8	Nachträgliche Anordnungen auf Behördeninitiative	448
25.1.3.9	Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigung (1996)	448
25.1.4	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	450
25.1.5	Überwachungsbedürftige Anlagen nach Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG)	451
25.2	Verordnungen zum BImSchG	452
25.2.1	Kleinfeuerungsanlagen (1. BImSchV)	452

25.2.2	Emissionsbegrenzung leichtflüchtiger HKW (2. BImSchV)	454
25.2.3	Grundsätze des Genehmigungsverfahrens (9. BImSchV, BImSchG)	455
25.2.4	Beschaffenheit und Auszeichnung von Kraftstoffqualitäten (10. BImSchV; 19. BImSchV)	456
25.2.5	Störfallverordnung (12. BImSchV)	456
25.2.5.1	Betriebsbereiche	457
25.2.5.2	Betreiberpflichten	457
25.2.5.3	Sonstige Pflichten	458
25.2.6	Großfeuerungsanlagen-Verordnung (13. BImSchV, GFAVO)	458
25.2.7	Begrenzung der KW-Emissionen von Tankstellen (20. und 21. BImSchV)	459
25.2.8	Immissionsbezogene Verordnungen (22. und 33. BImSchV)	459
25.2.9	Begrenzung des «Elektrosmogs» (26. BImSchV)	460
25.3	TA Luft	462
25.3.1	Begriffsbestimmungen und Einheiten im Meßwesen (Abschnitt 2 TA Luft) ..	462
25.3.2	Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen (Abschnitt 4)	463
25.3.3	Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen – Begrenzung und Feststellung der Emissionen (Abschnitt 5)	465
25.3.4	Anforderungen an Altanlagen – nachträgliche Anordnungen (Abschnitt 6) ..	467
25.3.5	Anhänge der TA Luft	467
26	Emissionen	469
26.1	Herkunft von Emissionen	469
26.2	Quellgruppen	469
26.3	Übersicht und Ursachen der Emissionsentwicklung bei den Hauptkomponenten ..	471
26.3.1	Kohlendioxid (CO ₂)	471
26.3.2	Kohlenmonoxid (CO)	472
26.3.3	Schwefeldioxid (SO ₂)	473
26.3.4	Stickoxide (NO _x)	474
26.3.4.1	Entstehung und Emission von NO _x	475
26.3.4.2	Emittenten	476
26.3.5	Organische Verbindungen	478
26.3.6	Staub	479
26.3.7	Schwermetalle	479
26.3.8	Nationale Emissionshöchstwerte (NEC-Richtlinie)	480
26.4	Ermittlung von Emissionen	483
26.4.1	Ausweisung von Untersuchungsgebieten	483
26.4.2	Pflicht zur Emissionserklärung (11. BImSchV)	483
26.4.3	Emissionsfaktoren	484
26.4.4	Emissionskataster	484
26.4.5	Luftreinhalteplan	485
26.5	Messung von Emissionen	487
26.5.1	Vorgaben der TA Luft Nr. 5.3	490
26.5.2	Messung von Stäuben	492
26.5.3	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	496
26.6	Begrenzung von Emissionen	497
27	Ausbreitung von Schadstoffen (Transmission)	499
27.1	Allgemeines	499
27.2	Die Schornsteinhöhenberechnung	500
27.2.1	Ermittlung der vorläufigen Bauhöhe H' mit dem Nomogramm	503
27.2.1.1	Ermittlung des äquivalenten Schornsteindurchmessers	503
27.2.1.2	Ermittlung der Rauchgasmenge (tr, n)	504
27.2.1.3	Ermittlung des Emissionsmassenstromes Q	505
27.2.1.4	Der Gewichtungsfaktor S	505
27.2.2	Berücksichtigung des Immissionsniveaus	507
27.3	Ausbreitungsrechnung	508

27.3.1	TA Luft (1986) – Gaußmodell	508
27.3.2	TA Luft 2002 – Lagrange'sches Partikelmodell	511
28	Immissionen	513
28.1	Immissionswerte und -grenzwerte	513
28.1.1	Atmosphärische Immissionen	513
28.1.1.1	Großräumige Entwicklung der Konzentration luftgetragener Schadstoffe	514
28.1.1.2	Immissionsgrenzwerte	516
28.1.2	Arbeitsplatzbelastungen	518
28.2	Situationen besonders hoher atmosphärischer Immissionsbelastung (Smog)	519
28.2.1	Los-Angeles-Smog (Photochemischer Smog, Sommersmog)	519
28.2.1.1	Historie und Prinzip der Sommersmog-Entstehung	519
28.2.1.2	Emission der Vorläufersubstanzen	519
28.2.1.3	Folgereaktionen in der Atmosphäre	520
28.2.1.4	NO-, NO ₂ - und Ozon-Tagesgänge	521
28.2.1.5	Ozon(grenz)werte und Schadwirkung	522
28.2.2	Londonsmog (Saurer Smog, Wintersmog)	523
28.3	Messung atmosphärischer Immissionskonzentrationen	525
28.3.1	Meßpläne	526
28.3.1.1	Ermittlung der Vorbelastung (TA Luft 4.6.2/4.6.3)	527
28.3.1.2	Stationäre Meßstationen und mobile Meßfahrzeuge	528
28.3.2	Probennahme	528
28.3.3	Meßverfahren	528
28.3.3.1	Messung von Stäuben	529
28.3.3.2	Messung von Gasen	530
29	Wirkungen von Luftschadstoffen	531
29.1	Wirkungen auf den Menschen	531
29.1.1	Schwefeloxide (SO ₂ /SO ₃)	531
29.1.2	Kohlenmonoxid (CO)	534
29.1.3	Stickoxide (Nitrose Gase: NO/NO ₂ , zusammen NO _x)	535
29.1.4	Ozon und andere Photooxidantien	536
29.1.5	Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	536
29.1.6	Feinstäube und Schwermetalle	538
29.1.6.1	Blei	539
29.1.6.2	Cadmium	540
29.1.7	Exkurs: Grundbegriffe der Toxikologie	540
29.2	Treibhauseffekt	542
29.2.1	Der «natürliche» Treibhauseffekt	542
29.2.2	Der «anthropogene» Treibhauseffekt	543
29.2.2.1	Kohlendioxid	545
29.2.2.2	Methan	547
29.2.2.3	Weitere Spurengase	547
29.2.2.4	Wasserdampf	548
29.2.3	Auswirkungen des Treibhauseffektes	549
29.2.3.1	Primär: Atmosphärische Temperaturerhöhung	549
29.2.3.2	Ansteigen der Weltmeeresspiegel	550
29.2.3.3	Politische Maßnahmen	551
29.2.4	Kritik der Treibhaustheorie	552
29.3	Ozonloch durch FCKW	554
29.3.1	Arten und Einsatzbereiche der FCKW	554
29.3.2	Wirkung in der Atmosphäre	555
30	Staubabscheidung	557
30.1	Allgemeines, Kenngrößen, Übersicht	557
30.1.1	Staubfraktionen, -zusammensetzung	557
30.1.2	Emissionsgrenzwerte	558
30.1.3	Gesamtabscheidegrad	558

30.1.4	Fraktionsabscheidegrad	559
30.2	Massenkraftabscheider	562
30.2.1	Schwerkraftabscheider	562
30.2.2	Fliehkraftabscheider (Zyklone)	563
30.3	Filternde Abscheider	567
30.3.1	Einsatzkriterien für Filter	567
30.3.1.1	Reingasstaubgehalt	567
30.3.1.2	Druckverlust	568
30.3.1.3	Effektive Filterflächenbelastung	569
30.3.1.4	Abgastemperatur	569
30.3.2	Tiefen-, Speicher- bzw. Absolutfilter	570
30.3.3	Abreinigungs- bzw. Flächenfilter	570
30.3.3.1	Schlauchfilter mit Druckluftabreinigung (Puls-Jet)	572
30.3.3.2	Sinterlamellen- und Starrkörperfilter	575
30.3.4	Schütttschichtfilter	576
30.3.4.1	CS-Schütttschichtfilter	577
30.3.4.2	Granulat-Röhrenfilter	578
30.4	Elektrostatische Abscheider	580
30.4.1	Prinzip des Elektrofilters	581
30.4.2	Trockene Elektrofilter	585
30.4.3	Nasse Elektrofilter	586
30.4.4	Kondensations-Naß-Elektrofilter	586
30.4.5	Ionisationswäscher	587
30.5	Staubwäscher	588
30.5.1	Prinzip der Naßwäscher	588
30.5.2	Bauformen	590
30.5.2.1	Waschtürme	592
30.5.2.2	Strahlwäscher	592
30.5.2.3	Wirbelwäscher	593
30.5.2.4	Desintegratoren und Rotationswäscher	594
30.5.2.5	Venturiwäscher	595
30.5.2.6	Tropfenabscheidung und Waschwasserkreislauf	596
30.6	Zusammenfassung unter besonderen Gesichtspunkten	598
30.6.1	Auswahlkriterien	598
30.6.2	Heißgas- und Hochtemperaturesstaubung	598
30.6.3	Hochleistungsentsstaubung	603
31	Absorption und Adsorption	605
31.1	Übersicht der Verfahren zur Behandlung von Gaskomponenten	605
31.1.1	Vorbemerkung zur Optimierung des Lufthaushaltes	607
31.1.2	Berücksichtigung der chemischen Eigenschaften bei der Verfahrensauswahl	607
31.2	Absorption von Gasen in Flüssigkeiten	609
31.2.1	Physikalische Absorption und Desorption	611
31.2.2	Chemische Absorption und Desorption	613
31.2.3	Kriterien zur Waschmittelauswahl	613
31.2.4	Absorberbauarten	615
31.2.4.1	Wäscher ohne Einbauten (Freiraumabsorber)	616
31.2.4.2	Wäscher mit ruhenden Einbauten	618
31.2.4.3	Wäscher mit bewegten Einbauten (Rotationswäscher)	621
31.2.5	Absorption von Quecksilber	622
31.3	Sprühabsorption (Quasi-Trocken-Verfahren, QTV)	622
31.4	Trockensorption (TSV) von Rauchgasen – Reaktion zum Produkt	624
31.4.1	Kalkprodukte	624
31.4.2	Natriumbicarbonat	626
31.4.3	Aktivkoks/-kohle	626
31.4.3.1	Steinkohlekoks (SKK) – SO ₂ und NO _x -Abscheidung	626
31.4.3.2	Herdofenkoks (HOK) – Hg- und PCDD/F-Abscheidung	627
31.4.3.3	Kalk-Koks-Gemisch (Sorbalit®)	629

31.4.4	Imprägnierte Zeolithe – Hg- und PCDD/F-Abscheidung	630
31.5	Adsorption von Gasen an Feststoffen – Reversible Anlagerung	632
31.5.1	Ergänzungen zum AK-Einsatz in der Wasserrreinigung	632
31.5.2	Anforderungen an Adsorbentien	635
31.5.3	Desorption und Regeneration	637
31.5.4	Adsorberbauarten	638
31.5.4.1	Festbettadsorber	638
31.5.4.2	Bewegtbettadsorber	640
31.5.4.3	Rotierende Adsorber	640
32	Anwendungsbereich: Lösemittelrückgewinnung	645
32.1	Einsatzbereiche und Eigenschaften von Lösemitteln	645
32.2	Grundsätzliche Möglichkeiten der Problemverringerng	647
32.2.1	Lösemittelbilanz nach 31. BImSchV	651
32.3	Rückgewinnung durch Kondensation	653
32.3.1	Kondensation ohne Einhaltung von Emissionsanforderungen	655
32.3.2	Kondensation/Desublimation mit Einhaltung von Emissionsanforderungen	656
32.3.2.1	Kondensation mit Zwischenkreislauf (CRYOSOLV®-Verfahren)	656
32.3.2.2	Desublimation im bewegten Kugelbett (CRYSUMAT®-K-Verfahren)	657
32.3.3	Sprühkondensation	658
32.4	Rückgewinnung durch Absorption	660
32.5	Rückgewinnung durch Adsorption	663
32.5.1	Aktivkohle(AK)-Festbetten	663
32.5.2	AK-Wanderbett	667
32.5.3	AK-Adsorptionsrad (ADR)	668
32.5.4	Anwendungsbeispiel: Lackierabluft, Vorreinigung	670
32.5.5	Makroporöse Polymere	671
32.5.6	Molekularsiebe	672
32.6	Rückgewinnung durch Gaspermeation	673
33	Chemisch-physikalische Schadstoffzerstörung	675
33.1	Grundlagen der oxidativen Schadstoffvernichtung	675
33.1.1	Zündbedingungen	676
33.1.2	Brennstoffeigenschaften	676
33.1.3	Brennstoffumsetzung (Verbrennungsgleichungen)	677
33.1.4	Sauerstoff- und Luftbedarf (Luftüberschußzahl)	678
33.1.5	Verbrennungs- und Rauchgastemperatur	678
33.1.6	Verbrennungsprodukte	679
33.2	Thermische Nachverbrennung (TNV, TAR)	679
33.3	Katalytische Nachverbrennung (KNV)	683
33.3.1	Von der TNV abweichende Grundlagen	683
33.3.2	Kenngößen von und Anforderungen an Katalysatoren	684
33.3.3	Thermische oder katalytische Nachverbrennung?	686
33.3.4	Hochtemperatur-KNV	688
33.3.5	Katalytische Dioxinzerstörung	689
33.4	Regenerative Nachverbrennung (RNV)	690
33.4.1	Combu Changer mit wechselnder Strömungsrichtung	691
33.4.2	RNV mit rotierendem Luftverteilsystem	692
33.4.3	Katalytischer Thermoreaktor (KTR)	692
33.4.4	Vergleich zwischen TNV, KNV, RNV und Adsorptionsrad	693
33.5	Fotooxidation	694
33.6	Emissionsminderung bei Motorabgasen	694
33.6.1	Katalysatortechnik für Ottomotoren	695
33.6.1.1	Geregelter Dreiwege-Katalysator (Lambda-Konzept)	695
33.6.1.2	Emissionsminderung und -erhöhung durch Kfz-Kat	698
33.6.1.3	Andere Katalysatorkonzepte	700

33.6.2	Katalysator- und Filtertechnik für Dieselmotoren	701
33.6.2.1	Emissionsvergleich mit Ottomotoren	701
33.6.2.2	Behandlung von Dieselaabgasen	702
34	Biologischer Schadstoffabbau	705
34.1	Biofilter aus natürlichem Trägermaterial	707
34.1.1	Einsatzvoraussetzungen	707
34.1.2	Filtermaterial	710
34.1.3	Abbauvorgänge	711
34.1.4	Bauformen	712
34.1.4.1	Offene Bio-Beete	712
34.1.4.2	Geschlossene Biofilter	714
34.1.4.3	Rotor-Biofilter	714
34.1.5	Auswahlkriterien und Bemessungsgrößen	715
34.1.6	Einsatzbereiche	717
34.2	Biotropfkörper und Biotricklingfilter	719
34.3	Biomembranreaktoren	722
34.4	Biowäscher	723
34.4.1	Merkmale und Prinzip	723
34.4.2	Bauformen und Einsatzbereiche	725
34.4.3	Wasser-Belebtschlamm-Hochsieder-Gemisch	726
34.5	Biologische Behandlung von Lösemittlemissionen	726
34.5.1	Abbaumechanismen	726
34.5.2	Limitierung des Abbaus	728
34.5.3	Anwendungen	728
34.6	Vergleich der biologischen Verfahren	729
34.6.1	Vor- und Nachteile von offenen Biofiltern	730
34.6.2	Vor- und Nachteile von Biowäschern	730
34.7	Vergleich zwischen chemischer und biologischer Gaswäsche	731
34.7.1	Merkmale der chemischen Oxidation	731
34.7.2	Merkmale der biologischen Oxidation	731
34.7.3	Vergleich von Vor- und Nachteilen	733
34.8	Verfahrenskombinationen	733
34.8.1	Biosorber – Bewegtes Trägermaterial	733
34.8.2	Synergiefilter – Wäscher, Biofilter und Adsorber	735
35	Entschwefelung von Rauchgasen	737
35.1	Verfahren mit Endprodukt Gips (Gips-Naß-REA)	739
35.1.1	Beispiel 1: Verfahren der Fa. Bischoff	743
35.1.2	Beispiel 2: Verfahren der Fa. Steinmüller	745
35.2	Gipsverwertung	747
35.3	Reinigung von REA-Abwässern	748
35.3.1	Fällungsverfahren	749
35.3.2	Ionentausch mit Eindampfung	749
35.4	Sprühabsorptionsverfahren (SAV) mit Kalk	751
35.4.1	Verfahren der Fa. Fläkt	751
35.4.2	Abfälle aus der SAV	751
35.5	Trockensorptionsverfahren (TSV) mit Kalk	752
35.6	Verfahren mit Zwischenprodukt SO ₂ -Reichgas	753
35.6.1	Beispiel: Wellmann-Lord/SULFROX-Verfahren (Davy McKee/Lurgi)	753
35.7	Verfahren mit Endprodukt Schwefelsäure	755
35.7.1	Beispiel: Degussa-Plinke-Verfahren mit H ₂ O ₂	755
36	Weitergehende Rauchgasreinigung	757
36.1	Entstickung von Kraftwerksabgasen	757
36.1.1	Grenzwertanforderungen	757
36.1.2	Primärmaßnahmen im Verbrennungsprozeß	757

36.1.3	Rauchgasseitige Sekundärmaßnahmen	760
36.1.3.1	Selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR)	763
36.1.3.2	Selektive katalytische Reduktion (SCR)	768
36.2	Simultane oder kombinierte Entschwefelung und Entstickung	772
36.2.1	Walther/AMASOX-Verfahren	772
36.2.2	Aktivkoks-Verfahren (BF/Uhde, Petersen – ACCR)	774
36.2.3	DESONOX-Verfahren	776
36.2.4	Elektronenstrahlverfahren (ESV)	778
36.2.5	DENOX/DESOX-Verfahren in zirkulierender Wirbelschicht	780
Teil 3:	Abfallvermeidung und -entsorgung	783
37	Abfallbegriff, -mengen und -parameter	785
37.1	Abfallbegriff	785
37.1.1	Subjektiver und objektiver Abfallbegriff	785
37.1.2	(Alter) Abfallbegriff des AbfG (1986)	786
37.1.3	(Neuer) Abfallbegriff der EU und des Krw-/AbfG	786
37.1.4	Abfall oder Produkt, Verwertung oder Beseitigung?	787
37.2	Unterscheidung von Abfallarten	791
37.3	Größen für die Abfallmengenabschätzung	793
37.3.1	Einwohnerspezifische Müllmenge (Hausmüll/Restmüll)	793
37.3.2	Müllraumdichte (Raumgewicht)	795
37.3.3	Jahresmüllmenge	795
37.4	Ermittlung der Haus- bzw. Restmüllzusammensetzung	795
37.4.1	Müllprobennahme	795
37.4.2	Siebanalyse	800
37.4.3	Sortieranalyse	800
37.5	Weitere Parameter zur Kennzeichnung des Mülls	802
37.5.1	Wassergehalt (WG)	802
37.5.2	Glühverlust (GV) und Glührückstand (GR)	802
37.5.3	Alternativen zum Glühverlust	802
37.5.4	Brenn- bzw. Heizwert (H_o bzw. H_u)	804
37.5.5	Prüfung auf Kompostierbarkeit	804
38	Abfallrecht	805
38.1	Historie des Abfallrechts	805
38.1.1	Ansätze vor 1972	805
38.1.2	Abfallbeseitigungsgesetz (1972) und Abfallwirtschaftsprogramm (1975)	806
38.1.3	Abfallgesetz (1986)	807
38.2	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (Krw-/AbfG, 1996)	807
38.2.1	Allgemeine Vorschriften (§§ 1 bis 3)	808
38.2.2	Grundsätze und Pflichten der Erzeuger und Besitzer von Abfällen sowie der Entsorgungsträger (§§ 4 bis 21)	809
38.2.2.1	Grundsätze der Kreislaufwirtschaft (§ 4)	809
38.2.2.2	Grundpflichten der Kreislaufwirtschaft (§§ 5 bis 8)	809
38.2.2.3	Energetische Verwertung oder thermische Behandlung vor der Beseitigung?	812
38.2.2.4	Betreiberpflichten (§ 9)	819
38.2.2.5	Gemeinwohlverträgliche Beseitigung (§§ 10 bis 18)	820
38.2.2.6	Überlassungspflichten, Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger, Verbände	820
38.2.2.7	Betriebliche Abfallwirtschaftskonzepte und -bilanzen (§§ 19 bis 21)	822
38.2.3	Produktverantwortung (§§ 22 bis 26)	822
38.2.4	Planungsverantwortung (§§ 27 bis 36)	823
38.2.4.1	Ordnung und Planung der Abfallbeseitigung (§§ 27 bis 29)	823
38.2.4.2	Zulassung von Abfallbeseitigungsanlagen (§§ 30 bis 36)	823
38.2.5	Absatzförderung (§ 37)	825
38.2.6	Informationspflichten (§§ 38 und 39)	825

38.2.7	Überwachung der geordneten Abfallentsorgung (§§ 40 bis 52)	825
38.2.7.1	Unterschiedliche Überwachungsgrade (§§ 40 bis 48)	825
38.2.7.2	Ermittlung der richtigen Abfallschlüsselnummer (ASNr.)	827
38.2.7.3	Zuordnung der Abfälle zum Grad der Überwachung	829
38.2.7.4	Transportgenehmigung und Entsorgungsfachbetriebe (§§ 49 bis 52)	830
38.2.8	Betriebsorganisation und Beauftragter für Abfall (§§ 53 bis 55)	830
38.3	Verordnungen zum AbfG	831
38.3.1	Abfallbestimmung, -schlüsselnummer	832
38.3.2	Nachweis der geordneten Entsorgung (NachwV bis 2005)	833
38.3.2.1	Obligatorischer Entsorgungsnachweis (EN) für bü-Abfälle – Grundverfahren (§§ 3 bis 7 NachwV)	836
38.3.2.2	Obligatorischer Entsorgungsnachweis für bü-Abfälle – privilegiertes Verfahren (§§ 10 bis 14 NachwV)	837
38.3.2.3	Sammelentsorgungsnachweis für bü-Abfälle (§§ 8; 9 NachwV)	838
38.3.2.4	Begleitscheinverfahren für bü-Abfälle (§§ 15 bis 17 NachwV)	839
38.3.2.5	Übernahmeschein (§§ 18; 19 NachwV)	841
38.3.2.6	Vereinfachter Entsorgungs- und Sammelentsorgungsnachweis (VN/VS) für ü-Abfälle (§§ 25; 26 NachwV)	841
38.3.2.7	NachwV-Novelle 2006	842
38.3.3	Entsorgungsfachbetriebe (EfbV/EgRL)	844
38.3.4	Transportgenehmigung (TgV)	846
38.3.5	Betriebliche Abfallkonzepte und Bilanzen (AbfKoBiV)	846
38.3.6	Gewerbeabfall (GewAbfV)	847
38.3.7	Verpackungsabfälle (VerpackV)	849
38.3.8	Altautos/Altfahrzeuge	855
38.3.9	Altöl	856
38.3.10	Batterien und Akkumulatoren (BattV)	857
38.3.11	Elektro- und Elektronikschrott (ElektroG)	858
38.3.12	Altholz	860
38.4	Verwaltungsvorschriften (VwV)	862
38.4.1	TA Abfall (bü-Abfälle)	862
38.4.2	TA Siedlungsabfall – TAsi	865
38.5	Abfallverbringung	869
39	Kommunale Abfallwirtschaft	871
39.1	Vermeiden vor Verwerten	872
39.2	Verwerten vor Beseitigen	874
39.2.1	Sammlung und Transport	875
39.2.1.1	Getrenntsammlung (Primäres Recycling)	876
39.2.1.2	Aufbereitung (Sekundärrecycling)	878
39.3	Abfallwirtschaftliche Ansätze	880
39.3.1	Integrierte Entsorgungskonzepte	881
39.3.2	Duales System	884
39.3.3	Kommunale Gebührensysteme	886
39.4	Auswirkungen des KrW-AbfG	892
39.5	Nachhaltigkeit der Siedlungsabfallentsorgung	895
40	Beispiele verwertbarer Altstoffe	899
40.1	Altpapier	900
40.2	Altglas	903
40.3	Kunststoffe	904
40.3.1	Möglichkeiten der Verwertung vermischter Kunststoffe	905
40.3.1.1	Werkstoffliches Recycling (physikalisch)	906
40.3.1.2	Rohstoffliches Recycling (chemisch/thermisch)	907
40.3.1.3	Energetische Nutzung	909

40.3.2	Resümee	909
40.4	Eisen- und Stahlschrott	911
40.5	Weißblechdosen	913
40.6	Vergleichende Ökobilanz für Getränkeverpackungen	914
40.7	Altfahrzeuge	914
40.8	Batterien und Akkumulatoren	919
40.9	Quecksilberhaltige Leuchtstofflampen	921
40.10	Elektronikschrott	922
40.11	Bauabfälle bzw. -reststoffe	923
41	Deponierung von Siedlungsabfällen	927
41.1	Allgemeine Probleme der Abfalldeponierung	929
41.2	Deponieplanung	930
41.2.1	Standortfindung	930
41.2.2	Abfallvorbehandlung als Bestandteil der Deponieplanung	932
41.2.3	Risikoabschätzung	935
41.3	Deponieformen und Deponietypen	936
41.3.1	Unterscheidung nach standortbedingtem Aufbau, spezifische Probleme	936
41.3.1.1	Hoch- bzw. Haldendeponie	936
41.3.1.2	Deponie am Hang	937
41.3.1.3	Grubendeponie (geschlossen)	937
41.3.1.4	Deponie als Talverfüllung bzw. im Kerbtal	938
41.3.2	Deponietypen – Unterscheidung nach Einbautechnik	938
41.3.2.1	Verdichtungsdeponie	938
41.3.2.2	Ballendeponie	939
41.3.2.3	Rottedeponie	939
41.3.2.4	Trockenreststoffdeponie	939
41.4	Rückbau von Deponien	940
41.5	Anforderungen der TA Siedlungsabfall (TASi) und Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV)	946
41.5.1	Anforderungen an die Abfälle	946
41.5.2	Anforderungen an den Deponieaufbau	950
41.5.3	Anforderungen an Betrieb, Personal und Dokumentation	950
41.6	Deponieabdichtungen	952
41.6.1	Basisabdichtung	953
41.6.1.1	Mineralische Abdichtungen aus kornabgestuften Mineral- gemischen, Tonen und tonigen Schluffen	953
41.6.1.2	Kunststoffabdichtungsbahnen (KDB) mit Geotextil	954
41.6.1.3	Kombinationsdichtungen aus mineralischer Schicht und KDB	954
41.6.1.4	Asphaltbetondichtungen	955
41.6.1.5	TASi-Regeldichtung und Dränage	956
41.6.2	Oberflächenabdichtung	959
42	Reinigung von Sickerwasser aus Hausmülldeponien	961
42.1	Wasserhaushalt der Deponie (Geordnete Hochdeponie)	961
42.2	Sickerwassermenge, -zusammensetzung und -entwicklung	962
42.3	Maßnahmen zur Sickerwasserverringerung	965
42.4	Sickerwasserbehandlung	966
42.4.1	Einleiteanforderungen	966
42.4.2	Sickerwassereigenschaften im Hinblick auf Konsequenzen für die Behandlung	969
42.4.3	Sickerwassermitbehandlung in kommunalen Kläranlagen	969
42.4.4	Biologische Verfahren für unverdünntes Sickerwasser	970
42.4.4.1	Aerobe Belebtschlammverfahren	970
42.4.4.2	Druckbiologie mit Ultrafiltration	971
42.4.4.3	Anaerobe Verfahren	971
42.4.4.4	Pflanzenklärsysteme	972

42.4.5	Weitergehende Verfahren zur Sickerwasserreinigung	973
42.4.5.1	Fällung/Flockung	974
42.4.5.2	Aktivkohle-Adsorption	975
42.4.5.3	Umkehrosmose (UO)	976
42.4.5.4	Physikalisch-chemische Oxidation	977
42.4.5.5	Thermische Verfahren	979
42.4.6	Zusammenfassung – Verfahrenskombinationen	980
42.4.6.1	Prinzipielle Möglichkeiten mit Biologie als erster Stufe	982
42.4.6.2	Biologie/UO/Eindampfung/Trocknung	984
42.4.6.3	Druckbiologie/UF/Nanofiltration mit chemisch-physikalischen Verfahren im Konzentratkreislauf	985
42.4.6.4	Verfahren ohne biologische Vorstufe	987
42.4.6.5	Kostenvergleich	987
43	Deponiegas	989
43.1	Einführung und Definition	989
43.2	Deponiegasentstehung und -entwicklung	990
43.3	Einflußfaktoren für die Gasbildung	991
43.4	Deponiegasmenge, -zusammensetzung und -eigenschaften	992
43.5	Entgasungsmaßnahmen	994
43.5.1	Ziele der Entgasung	995
43.5.2	Natürliche Entgasung	995
43.5.3	Technische Zwangsentgasung	996
43.5.3.1	Horizontale Gaserfassung	997
43.5.3.2	Vertikale Systeme	997
43.5.4	Problematik der Restemission	998
43.6	Deponiegasaufbereitung und Nutzung	999
43.6.1	Einflußfaktoren bezüglich der Nutzung	999
43.6.2	Nutzungsvarianten und Anforderungen	1000
43.6.3	Wirtschaftlicher Vergleich der Nutzungsvarianten	1001
43.6.4	Deponiegasaufbereitung	1003
44	Altlastenerkundung	1005
44.1	Einführung und Definition	1005
44.2	Umfang und Aufriß des Problems	1007
44.2.1	Anzahl der Verdachtsflächen	1007
44.2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen – Bodenschutzgesetz	1007
44.2.2.1	Teil I: Zweck, Begriffe, Anwendungsbereich (§§ 1 bis 3 BBodSchG)	1008
44.2.2.2	Teil II: Grundpflichten der Gefahrenabwehr und Vorsorge (§§ 4 bis 10 BBodSchG)	1008
44.2.2.3	Teil III: Altlastenmanagement (§§ 11 bis 16 BBodSchG)	1009
44.2.2.4	Teil IV: Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung (§17 BBodSchG)	1010
44.2.2.5	Teil V: Schlußvorschriften (§§ 18 bis 26 BBodSchG)	1010
44.2.3	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	1011
44.2.4	Finanzielle Fragen	1014
44.3	Erfassung und Bewertung von Verdachtsflächen	1015
44.3.1	Ablaufpläne	1015
44.3.2	Entdeckung und Vorerkundung	1020
44.3.3	Erfassung der Verdachtsfläche und Erstbewertung	1020
44.3.4	Standortuntersuchung und Analytik	1022
44.3.4.1	Bodenparameter	1022
44.3.4.2	Schadstoffanalytik	1023
44.3.5	Gefährdungsabschätzung	1024
44.3.6	Modellgliederung für eine Altlastbegutachtung	1027
44.4	Sanierungsvorbereitung	1027
44.4.1	Sanierungsziele	1029

44.4.2	Sanierungsuntersuchung	1030
44.4.3	Kriterien zur Auswahl der Maßnahmen	1031
44.4.4	Sanierungsplan und Projektmanagement	1033
45	Sanierung von Altlasten	1035
45.1	Sicherung von Altlasten	1037
45.2	Dekontamination von Altlasten – Übersicht	1039
45.2.1	In-situ-Verfahren	1041
45.2.1.1	Anwendung und Grenzen	1041
45.2.1.2	Hydraulische Maßnahmen – Grundwassersanierung	1041
45.2.1.3	In-situ-Wäsche bei herabgesetzter Oberflächenspannung (STL-Prozeß)	1042
45.2.1.4	Elektrokinetische Bodensanierung	1044
45.2.2	On-site-Verfahren	1046
45.2.3	Off-site-Verfahren	1046
45.2.4	Genehmigung von Sanierungsanlagen nach BImSchG	1047
45.2.5	Verfahrensübersicht	1047
45.2.5.1	Mikrobiologische Verfahren	1047
45.2.5.2	Bodenluftabsaugung, Dampfstrippen	1049
45.2.5.3	Extraktionsverfahren	1049
45.2.5.4	Thermische Verfahren	1049
45.2.5.5	Mischen mit Zuschlagsstoffen	1049
45.3	Biologische Altlastsanierung	1050
45.3.1	Voraussetzungen für den Sanierungserfolg	1050
45.3.2	Sanierungsverfahren	1053
45.3.2.1	In-situ-Sanierungen	1053
45.3.2.2	Ex-situ-Sanierung in Mieten (statisch)	1058
45.3.2.3	Ex-situ-Sanierung in Reaktoren (dynamisch)	1058
45.4	Extraktive chemische und mechanisch-physikalische Verfahren	1058
45.4.1	Bodenluftabsaugung	1059
45.4.1.1	Konventionelle Absaugung über Lanzen	1059
45.4.1.2	Biopuster®-Verfahren	1061
45.4.1.3	Absaugung bei niedrigen Grundwasserständen	1062
45.4.2	Mechanisch-physikalische Bodenwäsche	1062
45.4.3	Hochdruckwasserstrahl-Verfahren	1063
45.4.4	Suspensions-Strip-Verfahren	1064
45.4.5	Gegenstromextraktion mit Lösungsmittel	1064
45.5	Thermische Altlastsanierung	1066
45.5.1	Verbrennung im direkt befeuerten Drehrohr	1067
45.5.2	Schadstoffaustrieb im indirekt beheizten Drehrohr	1070
45.5.3	Sinterband und Wanderrost zum Pelletbrennen	1071
45.5.4	Wirbelschichtverfahren	1071
45.5.5	Flugstromverfahren	1072
45.5.6	Hochtemperaturverfahren mit Plasmabrenner	1072
45.5.7	Desorption mit überhitztem Dampf	1073
45.6	Sanierungserfolg	1074
46	Biomüllkompostierung	1075
46.1	Historische Entwicklung, rechtlicher Rahmen	1076
46.2	Kompostierungsvorgang	1077
46.3	Einflußfaktoren auf den Kompostierungsvorgang	1080
46.3.1	Nährstoffverhältnis	1080
46.3.2	Wassergehalt und Wasseraktivität	1080
46.3.3	Sauerstoffversorgung	1081
46.3.4	Temperatur	1081
46.3.5	pH-Wert	1083
46.4	Kompostierungsanlagen und -techniken	1083
46.4.1	Aufbereitung des Rohkompostes	1084

46.4.2	Rotte in Mieten (Haufwerk)	1087
46.4.2.1	Aktive Mietenbelüftung	1088
46.4.2.2	Saug- oder Druckbelüftung?	1088
46.4.2.3	Sauerstoffpflanzen	1090
46.4.2.4	Mietenabdeckung	1090
46.4.3	Zeilen-/Tunnelkompostierung	1091
46.4.4	Statische Rottezellen/-boxen/-container	1091
46.4.5	Dynamische Rottreaktoren	1092
46.4.6	Brikollare-Technik	1093
46.4.7	Aufbereitung zu Fertigkompost	1093
46.5	Umweltrelevanz und Arbeitsschutz	1094
46.5.1	Hygienische Aspekte	1094
46.5.1.1	Biomüllerrfassung	1094
46.5.1.2	Kompostierungsanlagen	1095
46.5.2	Geruchsbelästigung	1097
46.5.2.1	Was ist Geruch?	1097
46.5.2.2	Geruchsquellen im Kompostwerk	1097
46.5.2.3	Messung von Gerüchen	1099
46.5.2.4	Bewertung und Interpretation von Geruchsmessungen	1102
46.5.2.5	Emissionsbegrenzungen und Anlagengenehmigung	1103
46.5.3	Maßnahmen zur Emissionsminderung	1104
46.5.4	Sickerwasser und Kondensate	1106
46.6	Qualitätskriterien	1107
46.6.1	Probennahme, -aufbereitung und Parameterübersicht	1108
46.6.2	Seuchenhygienische Unbedenklichkeit	1110
46.6.3	Rottegrad	1113
46.6.4	Gehalt an organischer Substanz	1114
46.6.5	Wassergehalt und Wasserhaltekapazität	1114
46.6.6	Korngrößenverteilung und Volumengewicht	1114
46.6.7	Ballaststoffe	1115
46.6.8	Gehalt löslicher Salze	1115
46.6.9	Nährstoffe und pH-Wert, Pflanzenverfügbarkeit	1116
46.6.10	Schadstoffbelastung	1117
46.6.11	Qualitätskriterien	1119
46.6.11.1	Richtlinien der Komposterzeuger	1119
46.6.11.2	LAGA-Merkblatt M 10	1119
46.6.11.3	Bioabfall- und Kompostverordnung (BioAbfV)	1122
46.7	Kompostverwendung	1127
46.7.1	Landwirtschaft	1127
46.7.2	Substratherstellung	1128
46.7.3	Kompostvermarktung	1129
47	Anaerobverfahren und biologische Restmüllbehandlung	1131
47.1	Anaerobe Fermentation	1131
47.2	Mikrobiologische Grundlagen	1131
47.3	Verfahrenstechnische Grundlagen	1135
47.3.1	Materialinput	1135
47.3.2	Einstufige und mehrstufige Verfahren	1136
47.3.3	Trocken- oder Naßfermentation	1142
47.3.4	Meso- oder thermophile Reaktionstemperaturen	1142
47.3.5	Kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Prozeß	1142
47.3.6	Art der Umwälzung im Gärreaktor	1143
47.4	Verfahrenstechnische Beispiele	1143
47.4.1	BTA-Verfahren: Zweistufige Naß-Fermentation	1143
47.4.2	IMK-Verfahren: Zweistufig mit aerober Hydrolyse	1145
47.4.3	ATF-Verfahren: Trockenfermentation	1146
47.5	Biogasgewinnung und Emissionen	1146
47.5.1	Prozeßbedingte Emissionen	1147

47.5.2	Abwasser	1147
47.5.3	Feste Rückstände	1150
47.5.4	Biogas	1150
47.6	Kombination und Vergleich von aeroben und anaeroben Verfahren	1151
47.7	Mechanisch-biologische Abfallvorbehandlung (MBA)	1154
47.7.1	Anforderungen der TASI (1993) und der AbfAbtV (2001)	1155
47.7.2	Anforderungen des KrW-AbfG: Verwerten vor Beseitigen	1155
47.7.3	Konzepte und Anforderungen der MBA	1156
47.7.3.1	Verfahrenstechnische Grundzüge	1156
47.7.3.2	Beispiel: Kaminzugverfahren	1157
47.7.3.3	Beispiel: Mechanisch-biologisches Stabilisierverfahren (MBS)	1160
47.7.3.4	Beispiel: Aerob-anaerob-Kombination (3A-Verfahren)	1163
47.7.3.5	Emissionen	1164
47.7.3.6	Abwassereinleitungen	1167
47.7.3.7	Umweltverträgliche und kostengünstige MBA?	1168
47.7.4	Stellenwert der MBA im integrierten Entsorgungskonzept	1168
48	Müllverbrennung	1175
48.1	Historische Entwicklung	1175
48.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	1176
48.2.1	TA Siedlungsabfall (TASI) und Genehmigungsrecht (1993)	1176
48.2.2	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (1996)	1178
48.2.3	EU-Richtlinien	1179
48.3	Das politisch-wissenschaftliche Spannungsfeld	1179
48.3.1	Argumente für Müllverbrennung	1180
48.3.2	Argumente gegen Müllverbrennung	1180
48.3.3	Müllverbrennung oder Getrenntsammlung?	1181
48.3.4	Wie viele zusätzliche MVA?	1182
48.4	Haus-/Restmüll als Brennstoff – Verbrennungsvorgänge – Energiegewinn	1185
48.5	Technik der Müllverbrennung	1186
48.5.1	Übersicht einer MVA und unterschiedlicher Verfahren	1187
48.5.2	Rostsysteme	1189
48.5.3	Systeme mit Drehrohrofen	1196
48.5.4	Etagenöfen	1197
48.5.5	Wirbelschichttechnik	1299
48.5.6	Verbrennung im Gasplasma – Pyroarc-Verfahren	1207
48.5.7	Dezentrale Kleinanlagen	1209
48.6	Abfälle als Ersatzbrennstoffe (EBS) in Industrieanlagen und Kraftwerken	1212
48.6.1	Brennstoffeigenschaften	1213
48.6.2	Nutzung in Kraftwerken	1214
48.6.3	Nutzung in Zementöfen	1214
49	Umweltverträglichkeit von MVA	1215
49.1	Müllbelastung, Rohgaskonzentrationen	1216
49.2	Emission von Schwermetallen	1217
49.3	Emission von Dioxinen, Furanen und anderen organischen Problemstoffen	1218
49.3.1	Ursachen der PCDD/F-Emission aus MVA	1219
49.3.2	PCDD/F-Minimierter MVA-Betrieb	1221
49.3.3	Andere Dioxinquellen	1222
49.3.4	Toxikologische Relevanz	1223
49.4	Bestimmungen der 17. BImSchV (1990, 2003)	1223
49.4.1	Geltungsbereich (§ 1)	1223
49.4.2	Anforderungen an die Anlieferung, Zwischenlagerung und Feuerung der Einsatzstoffe (§§ 3, 4)	1224
49.4.3	Emissionsgrenzwerte	1225
49.4.4	Behandlung von Abfällen aus der MVA (§ 7)	1227
49.4.5	Überwachungsmessungen (§§ 9 – 16)	1227
49.5	Rauchgasreinigung (RGR) bei MVA	1228

49.5.1	Nasse Gaswäsche	1230
49.5.2	Trockene Sorption (TSV)	1231
49.5.3	Quasitrockene Sorption (QTV) – Sprühabsorption	1232
49.5.4	Komplettes RGR-System einer modernen MVA	1232
49.5.5	Innovative Weiterentwicklungen	1235
49.5.6	Wirtschaftlich optimierte Konzepte	1237
49.5.6.1	Quasi-trockenes Sprühabsorptionsverfahren	1237
49.5.6.2	Optimierte multifunktionale Oberflächenfilter	1238
49.6	Feste Abfälle der Müllverbrennung – Aufbereitung, Verwertung, Entsorgung	1239
49.6.1	Mengen fester MVA-Abfälle	1239
49.6.2	Art des Schlackeaustrags (Rostabwurf)	1241
49.6.3	Aufbereitung und Inertisierung der Schlacke	1242
49.6.3.1	Wert- und Schadstoffentfrachtung	1242
49.6.3.2	Schadstoffimmobilisierung	1242
49.6.4	Eigenschaften und Entsorgung der Schlacke	1243
49.6.4.1	Eluatbelastung	1243
49.6.4.2	Verwertung	1244
49.6.4.3	Ablagerung	1245
49.6.5	Behandlung und Entsorgung von Stäuben und RGR-Produkten	1247
50	Thermische Verfahren ohne Sauerstoff	1249
50.1	Pyrolyse	1250
50.1.1	Pyrolysevorgang	1250
50.1.2	Produkte und Abfälle der Pyrolyse	1252
50.2	Pyrolyseverfahren (für Hausmüll)	1253
50.2.1	DBA-Verfahren	1253
50.2.2	Schwel-Brenn-Verfahren (Siemens/KWU)	1255
50.2.3	Konversionsverfahren (Fa. Noell)	1257
50.2.4	Thermoselect	1258
50.2.5	Verfahrensvergleich	1261
50.3	Vergleich zur Müllverbrennung	1262
50.4	Niedertemperaturkonvertierung	1267
50.4.1	Verfahrensablauf	1267
50.4.2	Produkte und Ausbeuten	1268
50.4.3	Energiebilanz	1269
51	Gefahrstoffe	1271
51.1	Chemikalien- und Gefahrstoffrecht (Übersicht)	1271
51.1.1	Chemikaliengesetz (ChemG)	1272
51.1.2	Gefahrstoffverordnung (GefStoffV, 2004)	1276
51.1.3	Technische Regeln – TRGS	1276
51.1.4	Der Gefahrstoffbegriff	1280
51.2	Arbeitgeberpflichten	1281
51.2.1	Ermittlungspflicht	1281
51.2.1.1	Gefahrstoffverzeichnis	1281
51.2.1.2	Ersatzstoffprüfung	1282
51.2.2	Informationspflicht gegenüber den Beschäftigten	1289
51.2.2.1	Sicherheitsdatenblatt	1289
51.2.2.2	Betriebsanweisung	1297
51.2.2.3	Unterweisung und Beratung	1301
51.2.2.4	Ordnungsmerkmale und Kennzeichnungen	1303
51.2.3	Überwachungspflicht	1314
51.2.3.1	Grenz- und Richtwerte	1314
51.2.3.2	Meßpflichten	1317
51.2.3.3	Gesundheitliche Überwachung	1317
51.2.4	Arbeitsschutzmanagement	1320
51.2.4.1	Gefährdungsanalyse und -beurteilung	1320
51.2.4.2	Prioritätensetzung – Beispiel: Zürich-Methode	1321

51.2.4.3	PDCA-Zyklen	1326
51.2.5	Schutzstufenkonzept der GefStoffV (2004)	1327
51.3	Sicherheitsbeauftragte und -fachkräfte	1327
51.3.1	Sicherheitsbeauftragte (SiBea)	1327
51.3.2	Fachkräfte für Arbeitssicherheit (SiFa)	1331
51.4	Lagerung	1332
51.4.1	Sicherheitsdatenblatt, TRGS 220	1332
51.4.2	TRGS 514 – Lagerung (sehr) giftiger Stoffe	1333
51.4.2.1	Anwendungsbereich (Nr. 1)	1333
51.4.2.2	Begriffsbestimmungen (Nr. 2)	1334
51.4.2.3	Sicherheitstechnische Maßnahmen (Nr. 3)	1334
51.4.2.4	Betriebsvorschriften (Nr. 4)	1336
51.4.2.5	Persönliche Schutzausrüstung, hygienische Maßnahmen, Rettungseinrichtungen und Erste Hilfe (Nrn. 5 bis 7)	1337
51.4.2.6	Gefahren bei Bränden (Anhang)	1337
51.4.3	TRGS 515 -Lagerung brandfördernder Stoffe	1337
51.4.3.1	Anwendungsbereich (Nr. 1)	1338
51.4.3.2	Begriffsbestimmungen (Nr. 2)	1338
51.4.3.3	Sicherheitstechnische Maßnahmen (Nr. 3)	1338
51.4.3.4	Brandschutz (Nr. 4)	1339
51.4.4	Lagerung brennbarer Flüssigkeiten (VbF und TRbF)	1339
51.4.5	VCI-Lagerklassenkonzept	1342
51.5	Störfallmanagement	1351
51.5.1	Betriebsbereich und additives Umsetzungskonzept	1351
51.5.2	Grundpflichten	1352
51.5.3	Erweiterte Pflichten	1352
52	Beförderung von gefährlichen Stoffen – Gefahrgüter	1353
52.1	GGVSE – Geltungsbereich	1354
52.2	Weitere Bestimmungen der GGVSE	1355
52.3	Anlagen A und B zum ADR/RID	1355
52.3.1	Teil 1: Allgemeine Vorschriften	1355
52.3.2	Teil 2: Klassifizierung der Stoffe	1357
52.3.3	Teil 3: UN-Nummern	1357
52.3.4	Teil 4: Verpackungsvorschriften	1357
52.3.5	Teil 5: Versandvorschriften	1357
52.3.6	Teil 6: Bau- und Prüfung von Verpackungen	1360
52.3.7	Teil 7: Vorschriften für die Beförderung, die Be- und Entladung und die Handhabung	1361
52.3.8	Teil 8 Vorschriften für die Fahrzeugbesetzungen, die Ausrüstung, den Betrieb der Fahrzeuge und die Dokumentation	1361
52.3.9	Teil 9: Bau und Zulassung der Fahrzeuge	1362
52.4	Ausnahmeregelungen	1362
52.5	Systematisches Vorgehen	1363
52.6	Gefahrgutbeauftragte und sonstige Verantwortliche	1363
52.6.1	Verantwortliche gemäß § 9 GGVS	1363
52.6.2	Gefahrgutbeauftragte	1364
52.6.3	Beauftragte Personen	1364
53	Sondermüllvermeidung	1365
53.1	Zum Begriff Sondermüll; Rechtliche Verweise	1365
53.2	Herkunft und Ursachen	1367
53.3	Vermeidung und Verwertung in geschlossenen Systemen und Verwertungskaskaden	1370
53.3.1	Beispiel einer Verwertungskaskade: TiO ₂ -Herstellung	1372
53.3.1.1	Chlorverfahren	1372
53.3.1.2	Sulfatverfahren	1373
53.3.2	Beispiele für Kreislaufschließung: Oberflächenbearbeitung und -veredlung ..	1376

53.3.2.1	Mechanische Bearbeitung	1376
53.3.2.2	Reinigung	1378
53.3.2.3	Oberflächenvorbehandlung	1379
53.3.2.4	Oberflächenbeschichtung: Lackierung	1380
53.3.2.5	Oberflächenbeschichtung: Galvanik	1384
53.4	Abfallkataster	1389
53.4.1	Betriebliche Abfallkataster und -wirtschaftskonzepte	1389
53.4.2	Gewerbeabfallkataster	1391
54	Sonderabfallsorgung	1397
54.1	Sondermüllanfall und -zwischenlagerung	1397
54.2	Vorbehandlung und Beseitigung	1400
54.2.1	Chemisch-physikalisch-biologische Vorbehandlung (CPB)	1401
54.2.1.1	Typische Probleme, die eine CPB erfordern	1402
54.2.1.2	Verfahren der CPB	1403
54.2.2	Beseitigung	1408
54.2.2.1	Identifikation vor der Beseitigung	1408
54.2.2.2	Obertägige Hochsicherheitsdeponie – Multibarrierensystem	1409
54.2.2.3	Untertagedeponie	1412
54.2.2.4	Sonderabfallverbrennung (SAV)	1422
54.3	Überkapazitäten	1426
55	Kommunaler Klärschlamm – Behandlung	1429
55.1	Schlammbezeichnungen und Kenngrößen	1429
55.1.1	Trockenmassekonzentration (bzw. Trockensubstanz TS)	1431
55.1.2	Trockenrückstand TR	1431
55.1.3	Schlammvolumen V_s	1432
55.1.4	Schlammindex (ISV)	1433
55.2	Schlammmenge und Beschaffenheit	1433
55.2.1	Kommunaler Klärschlammfall	1433
55.2.2	Physikalische und chemische Kenndaten	1434
55.2.3	Schadstoffbelastungen des Klärschlammes	1434
55.2.4	Hygienische Bedenken	1437
55.3	Stabilisierung von Klärschlämmen	1438
55.3.1	Anaerobe (mesophile) Schlammfäulung	1439
55.3.2	Aerobe Stabilisierung	1443
55.3.2.1	Simultane Stabilisierung	1444
55.3.2.2	Getrennte Stabilisierung	1444
55.3.2.3	Aerob-thermophile Stabilisierung in Reaktoren	1445
55.3.2.4	Kompostierung	1447
55.3.2.5	Desintegration von Klärschlämmen	1448
55.3.3	Weitere Verfahren und Verfahrenskombinationen	1449
55.3.3.1	Enzymatische Stabilisierung	1449
55.3.3.2	Chemolyse	1449
55.3.3.3	Verfahrenskombinationen	1449
55.3.4	Teilaspekt: Desinfektion	1451
55.4	Wasserentzug	1451
55.4.1	Einflüsse auf die Entwässerbarkeit	1453
55.4.2	Beurteilung von Klärschlammeeigenschaften	1457
55.4.3	Konditionierung vor der Entwässerung	1458
55.4.3.1	Organische Flockungshilfsmittel (FHM)	1458
55.4.3.2	Konditionierung bei Kammerfilterpressen	1461
55.4.3.3	Konditionierung bei Zentrifugen	1461
55.4.3.4	Konditionierung bei Bandfilterpressen	1461
55.4.4	Zusammenhang zwischen TR-Erhöhung und Volumenreduktion	1461
55.4.5	Physikalische Entwässerung stabilisierter Schlämme	1462
55.4.6	Thermische Trocknung vorentwässerter Schlämme	1463

55.4.6.1	Vollentwässerung auf >90% TR	1463
55.4.6.2	Trocknervarianten	1465
56	Klärschlamm Entsorgung	1467
56.1	Stoffliche Verwertung	1468
56.1.1	Landwirtschaftliche Nutzung	1468
56.1.1.1	Schwermetallbelastung	1470
56.1.1.2	Organische Problemstoffe	1471
56.1.1.3	Klärschlammverordnung (AbfKlärV)	1474
56.1.2	Klärschlammkompostierung und -vererdung	1475
56.1.3	Landschaftsbauliche Nutzung	1477
56.1.4	Alternative stoffliche Verwertungen	1479
56.2	Energetische Verwertung	1479
56.2.1	Klärschlammverbrennung	1480
56.2.1.1	Monoverbrennung	1482
56.2.1.2	Mitverbrennung	1485
56.2.2	Niedertemperaturkonvertierung (NTK)	1486
56.2.3	Naßoxidation – VerTech-Verfahren	1487
Teil 4: Lärm		1489
57	Mathematisch-physikalische Grundlagen des Schallschutzes	1491
57.1	Begriffsklärungen	1491
57.1.1	Schall	1491
57.1.2	Interferenz	1491
57.1.3	Ton und Klang	1493
57.1.4	Lärm	1493
57.2	Allgemeine Grundlagen	1494
57.2.1	Betrachtung eines Sinustones	1494
57.2.2	Schalleistung, -druck und -intensität	1495
57.2.3	Menschliches Hörvermögen	1496
57.3	Quantitative Erfassung der Schallintensität – Dezibel	1496
57.3.1	Rechnen mit Dezibel	1498
57.3.1.1	Addition zeitlich konstanter und gleicher Schallpegel	1499
57.3.1.2	Addition zeitlich konstanter, aber ungleicher Pegel	1500
57.4	Die Frequenzeinteilung in Oktaven und Terzen	1502
57.5	Kann man Empfindungen messen? – Audiometrie	1505
57.6	Lautstärkeempfindung	1509
57.6.1	Begriffsklärungen	1509
57.6.2	Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung	1509
57.6.3	Lästigkeitsempfindung	1510
57.7	Bewertete Schallpegel	1512
57.7.1	A-Bewertung, dB(A)	1512
57.7.2	ISO-Grenzkurvenbewertung	1514
57.7.3	Bewertung mit Hilfe der Lautheit	1515
57.7.4	Grenzwertfindung	1516
57.8	Halbierungsparameter und Bewertungsfaktor	1516
57.9	Zeitlich variable Schallpegel	1517
57.9.1	Mittelungspegel L_m bzw. L_{Aeq}	1518
57.9.2	Taktmaximalpegel-Verfahren (TMPV); Wirkpegel	1520
57.9.3	Vereinfachte Pegelmittelung	1523
57.9.4	Beurteilungspegel L_r	1524
57.9.4.1	Beurteilungszeit	1524
57.9.4.2	Zuschlag K_T für Ton- und Informationshaltigkeit	1525
57.9.4.3	Zuschlag K_I für Impulshaltigkeit	1525
57.9.4.4	Abschlag für Fremdgeräusche	1525
57.9.4.5	Zuschlag für Ruhezeiten	1526

57.9.4.6	Tonzuschlag und Zeitkorrektur nach Baulärmschutzgesetz	1526
57.9.4.7	24-Stunden-Beurteilungspegel für Straßenverkehrslärm	1526
58	Rechtliche Grundlagen, Messung von Schall	1529
58.1	Rechtliche Grundlagen	1529
58.1.1	Gewerblicher Lärm in seiner Auswirkung auf die Nachbarschaft – TA Lärm	1530
58.1.2	Lärm am Arbeitsplatz	1534
58.1.3	Straßenverkehrslärm	1536
58.2	Messung von Schall	1538
58.2.1	Anlagenlärm in der Nachbarschaft	1538
58.2.1.1	Meßvorschriften der TA Lärm	1538
58.2.1.2	Meßprotokoll	1540
58.2.2	Lärm am Arbeitsplatz	1550
58.2.3	Verkehrslärm	1553
58.2.3.1	Konventionen für die Pegelberechnung	1553
58.2.3.2	Berechnung eines Straßen-Emissionspegels	1555
59	Schallschutzmaßnahmen	1559
59.1	Schallausbreitung	1562
59.2	Primärer (konstruktiver) Schallschutz	1563
59.2.1	Verringerung der Stärke der Anregung	1564
59.2.2	Beeinflussung des zeitlichen Verlaufs der Anregung	1565
59.2.3	Verringerung der Körperschallfortleitung und Schallabstrahlung	1566
59.3	Sekundärer Schallschutz	1567
59.3.1	Luftschalldämpfung (Absorption)	1569
59.3.1.1	Poröse Absorber (Höhenabsorber)	1572
59.3.1.2	Resonanzabsorber, Lochplatten (Mittenabsorber)	1573
59.3.1.3	Plattenabsorber (Tiefenabsorber)	1574
59.3.1.4	Schalldämpfer	1574
59.3.2	Schalldämmung (Reflexion)	1574
59.3.2.1	Schalldämmmaß R und Bauschalldämmmaß R'	1575
59.3.2.2	Bewertetes Schalldämmmaß R_w , Luftschallschutzmaß LSM	1577
59.3.2.3	Einschalige Bauteile, Massengesetz	1579
59.3.2.4	Zweischalige Bauteile	1581
Teil 5:	Fachübergreifendes Verwaltungs- und Umweltrecht, Umweltmanagement	1585
60	Allgemeine Rechtsstruktur und Verwaltungsrecht	1587
60.1	Nationale Rechtsstruktur	1587
60.1.1	Bundes- und Landesrecht	1587
60.1.2	Gesetze und Verordnungen	1587
60.1.3	Verwaltungsvorschriften und Technische Regeln	1588
60.1.4	Einwirkungen des Europarechtes	1588
60.2	Öffentliches Recht	1589
60.3	Allgemeines Verwaltungsrecht	1590
60.3.1	Verwaltungsverfahren und Verwaltungsakt	1591
60.3.2	Beteiligte eines Verwaltungsverfahrens	1593
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 (BImSchG und BauGB)	1597
60.4.2.1	Flächennutzungsplan (F-Plan bzw. FNP)	1598
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 Umweltstatistikgesetz (UStatG)	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	1626
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.	1630
62.3 EU-Öko-Audit (EMAS II)	1632
62.3.1 Begriff und Ziele des Öko-Audits	1635
62.3.2 Unabhängige Umweltgutachter	1636
62.3.3 EMAS – anspruchsvoller als ISO 14 001	1637
62.3.4 Erfahrungen mit dem Öko-Audit	1637
62.4 Zehn Schritte zu Aufbau und Implementierung eines UMS	1639
62.4.1 Projektvorbereitung, Allgemeine Anforderungen (ISO 14 001, Nr. 4.1)	1639
62.4.2 Festlegung der Umweltpolitik (4.2)	1639
62.4.3 Umweltprüfung – Ermittlung der Umweltaspekte (4.3.1)	1640
62.4.4 Ermittlung der Rechtsvorschriften (4.3.2)	1643
62.4.5 Festlegung von Umweltzielen/-programmen (4.3.3 und 4.3.4)	1643
62.4.6 Implementierung des UMS (4.4)	1643
62.4.7 Betriebsprüfungen und UM-Systemaudits	1644
62.4.8 Management Review	1644
62.4.9 Veröffentlichung der Umweltpolitik bzw. Umwelterklärung	1644
62.4.10 Externe Begutachtung	1644
62.4.11 Nutzen des Öko-Audits für das Unternehmen	1645
62.5 Betriebsbeauftragte	1646
62.6 Kriterien für ganzheitliches Umweltmanagement	1647
62.6.1 Gute Umwelt-Managementpraktiken	1651
62.6.2 Organisation des Umweltmanagements	1653
62.6.3 Kriterien für die ASU-Auszeichnung für umweltbewußte Unternehmensführung	1653
62.6.4 Checklisten	1655
62.6.5 Kybernetische Prinzipien und ökologische Unternehmensführung	1656
Fachliche Abkürzungen	1659
Formelzeichen und Einheiten	1669
Glossar	1673
Adressenverzeichnis	1679
Quellenverzeichnis	1687
Stichwortverzeichnis	1761