

Abwassertechnologie

Entstehung, Ableitung,
Behandlung, Analytik der Abwässer

Herausgeber

Forschungseinrichtung für Wasser- und
Reststofftechnologie FIP Institut Pöppinghaus GmbH
Prof. Dr. K. Pöppinghaus

und

Institut Fresenius GmbH, Taunusstein-Neuhof
Prof. Dr. W. Fresenius, Prof. Dr. W. Schneider

Zweite, völlig neubearbeitete Auflage

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
HongKong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	
1.1	Klassifizierung der Abwässer	
1.2	Die Beschaffenheit der Abwässer	
1.3	Schädlichkeit des Abwassers bei Einleitung in ein Gewässer	
1.4	Wassergefährdende Stoffe	11
1.4.1	Allgemeines	11
1.4.2	Rechtliche Grundlagen	11
1.4.2.1	Gewerberechtliche Anforderungen	17
1.4.2.2	Baurechtliche Anforderungen	19
1.4.3	Transport wassergefährdender Stoffe	20
1.4.4	Muster-Anlagenverordnung (Muster-VAWS)	21
1.4.5	Muster-Anlagen Verordnung 1990	22
	Abwasserarten und Abwassermengen	25
2.1	Häusliche Schmutzwässer	25
2.1.1	Entstehung und Arten der häuslichen Schmutzwässer	25
2.1.2	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers privater Haushalte	26
2.1.2.1	Menge des häuslichen Schmutzwassers	26
2.1.2.2	Zusammensetzung des häuslichen Schmutzwassers	29
2.1.3	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers öffentlicher Gebäude	31
2.1.4	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers von Touristenanlagen	33
2.1.4.1	Gasthäuser	33
2.1.4.2	Hotels	34
2.1.4.3	Campinganlagen	34
2.1.4.4	Organisierte Strände	34
2.2	Kommunales Schmutzwasser	35
2.2.1	Menge des kommunalen Schmutzwassers	35
2.2.2	Schwankungen des Schmutzwasseranfalls	41
2.2.3	Schmutzmenge je Einwohner	42
2.2.4	Schmutzkonzentration	53
2.2.5	Schwankungen der Schmutzkonzentration und der Schmutzfracht	55

vm

2.3	Fremdwasser	56
2.3.1	Fremdwasserarten	56
2.3.2	Entstehung und Menge der Fremdwasserarten	56
2.4	Gewerbliche und industrielle Abwässer	58
2.4.1	Anorganisches industrielles Abwasser	74
2.4.1.1	Abwasser aus dem Bereich der Industriegruppe Steine und Erden	75
2.4.1.2	Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	77
2.4.1.2.1	Abwässer der Eisenhütten	78
2.4.1.2.2	Abwässer von Stahl- und Walzwerken	79
2.4.1.2.3	Abwässer von Maschinenfabriken und mechanischen Werkstätten	80
2.4.1.2.4	Abwässer von Metallbeizeereien	80
2.4.1.2.5	Abwässer von Eloxalbetrieben	84
2.4.1.2.6	Abwässer galvanotechnischer Betriebe	85
2.4.1.3	Abwässer aus Bergwerken und Erzaufbereitungsanlagen	87
2.4.1.3.1	Grubenwässer	88
2.4.1.3.2	Waschkauenabwässer	89
2.4.1.3.3	Abwässer der Kohlewäschen und Kohleaufbereitung	90
2.4.1.3.4	Abwässer aus Steinkohlekokereien	90
2.4.1.3.5	Kokslösch wässer	92
2.4.1.3.6	Abwässer der Holzkohleherstellung	92
2.4.1.4	Abwässer der chemischen Industrie	92
2.4.1.4.1	Abwässer von Mineralsäurefabriken	93
2.4.1.4.2	Abwässer der Kaliindustrie	94
2.4.1.4.3	Abwässer von Sodafabriken	95
2.4.1.4.4	Abwässer von Düngemittelfabriken	96
2.4.1.4.5	Abwässer von Goldschwefelfabriken	99
2.4.2.	Organisches industrielles Abwasser	99
2.4.2.1	Abwässer der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie	100
2.4.2.1.1	Abwässer der pharmazeutischen Industrie	100
2.4.2.1.2	Abwässer der Kosmetik-Industrie	101
2.4.2.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung von Farbstoffen	101
2.4.2.2.1	Anorganische Farbstoffabwässer	101
2.4.2.2.2	Organische Farbstoffabwässer	103
2.4.2.3	Abwässer aus der Herstellung von Seifen und synthetischen Waschmitteln	104
2.4.2.3.1	Abwässer aus der Herstellung der Seifen aus Fettsäure	105
2.4.2.3.2	Abwässer aus der Herstellung von synthetischen Waschmitteln	107
2.4.2.4	Abwässer der Kunststoffindustrien	111
2.4.2.4.1	Abwässer der Kunststoffindustrie auf Cellulosebasis	112
2.4.2.4.2	Abwässer der Kunststoffindustrie (Kondensationsprodukte)	113
2.4.2.4.3	Abwässer der Kunststoffindustrie (Polymerisationsprodukte)	115
2.4.2.5	Abwässer aus Gerbereien und Lederfabriken	117
2.4.2.5.1	Abwässer aus Gerbereien	117
2.4.2.5.2	Abwässer von Lederfabriken	122
2.4.2.6	Abwässer der Textilindustrie	123
2.4.2.6.1	Abwässer von Spinnfabriken	124

2.4.2.6.1.3	Abwässer der Kunstseide- und Zellwollefabriken	129
2.4.2.6.2	Abwässer der Baumwollbleichereien	134
2.4.2.6.3	Abwässer der Wollwäschereien	134
2.4.2.6.4	Abwässer von Tuchfabriken	136
2.4.2.7	Abwässer der Holzverarbeitungs-, Zellstoff-, Papier- und Pappfabriken	139
2.4.2.7.1	Abwässer von Holzverarbeitungs-, Holzstofffabriken, Holzschleifereien	139
2.4.2.7.2	Abwässer von Zellstofffabriken	142
2.4.2.7.2.1	Abwässer von Sulfatzellstofffabriken	142
2.4.2.7.2.2	Abwässer von Sulfatzellstofffabriken	144
2.4.2.7.3	Abwässer von Strohcellstofffabriken	144
2.4.2.7.4	Abwässer von Papierfabriken	145
2.4.2.7.5	Abwässer von Strohappenfabriken	147
2.4.2.7.6	Abwässer aus der Herstellung von Holzfaserplatten mittels Naßverfahren	148
2.4.2.8	Abwässer der erdölverarbeitenden Industrie	150
2.4.2.8.1	Abwässer der Bohrfelder	150
2.4.2.8.2	Abwässer der Erdö Raffinerien	151
2.4.2.8.3	Abwässer petrochemischer Anlagen	155
2.4.2.8.4	Mineralöhlhaltige Abwässer von Öllagerstellen, Tankstellen und Werkstätten	156
2.4.2.9	Abwässer aus der Lebensmittelindustrie	157
2.4.2.9.1	Abwässer der Zuckerfabriken	167
2.4.2.9.1.1	Rübenzucker	167
2.4.2.9.1.2	Zucker aus Zuckerrohr	170
2.4.2.9.2	Abwässer von Milch Verarbeitungsbetrieben	172
2.4.2.9.3	Abwässer aus der Herstellung nichtalkoholischer Getränke	177
2.4.2.9.4	Abwässer der Brauereien	180
2.4.2.9.5	Abwässer von Margarine-, Speisefett- und Ölfabriken	184
2.4.2.9.6	Abwässer von Schlachthöfen und Fleischwarenfabriken	186
2.4.2.9.7	Abwässer aus Fischkonservenfabriken	189
2.4.2.9.8	Abwässer aus der Obst- und Gemüsekonservenfabrikation	192
2.4.2.9.9	Abwässer der Stärkeherstellung und Kartoffelverarbeitung	195
2.4.2.9.9.1	Abwässer der Kartoffelstärkeindustrie	195
2.4.2.9.9.2	Abwässer der Weizenstärkefabriken	198
2.4.2.9.9.3	Abwässer der Maisstärkefabriken	200
2.4.2.9.9.4	Abwässer der Reisstärkefabriken	202
2.4.2.9.9.5	Abwässer der Stärkezucker- und -sirupfabriken	202
2.4.2.9.9.6	Abwässer der Kartoffeltrocknungserzeugnisse	202
2.4.2.9.9.7	Abwässer von Kartoffelchips herstellenden Betrieben	203
2.4.2.9.10	Abwässer von Betrieben der Weinbereitung	203
2.4.2.10	Abwässer von Pflanzen- und Tierabfälle verarbeitenden Betrieben	206
2.4.2.10.1	Landwirtschaftliche Abwässer	207
2.4.2.10.1.1	Abwässer von Pektinfabriken	209
2.4.2.10.1.2	Abwässer von Darmsaiten- und Darmzubereitungsanlagen	211

X

2.4.2.10.1.3	Verwertung tierischer Exkremente	213
2.4.2.10.2	Abwässer von Tierkörperbeseitigungsanlagen (TKB-Anlagen)	213
2.4.2.10.3	Abwässer von Fischmehlfabriken	216

2.5	Niederschlags wasser	217
2.5.1	Niederschlagsarten	218
2.5.2	Verschmutzung des Niederschlagswassers	219
2.5.2.1	Atmosphärische Verunreinigungen	220
2.5.2.2	Bodenoberflächen Verunreinigungen	221
2.5.3	Verschmutzung des Regenwetterabflusses in der Kanalisation	224
2.5.3.1	Verschmutzung des Abflusses in Mischkanalisation	225
2.5.3.2	Verschmutzung des Abflusses in Trennkanalisationen	225

3 Prinzipien der Industrierwasserwirtschaft 227

3.1	Maximen für eine zukunftsorientierte Industrie- wasserwirtschaft	227
------------	---	-----

3.2.	Vermeiden und Vermindern von Abwässern	228
-------------	---	-----

3.3.	Wiederverwendung von Wasser	231
-------------	------------------------------------	-----

3.3.1	Mehrfachnutzung und Rückführung von Abwässern in der Industrie	234
3.3.1.1	Rücknahme von Abwässern im eigenen Betrieb	235
3.3.2	Verwendung von Abwasser in anderen Bereichen	240
3.3.2.1	Wiederverwendung von Abwasser für Trink- und Badezwecke	241
3.3.2.2	Verwendung in anderen Industriebetrieben	241
3.3.2.3	Verwendung von Abwasser in doppelten (dualen) Wasser- versorgungsanlagen für häusliche Brauchwasserzwecke	242
3.3.2.4	Abwassernutzung für die Grundwasseranreicherung	242
3.3.2.5	Verwendung von Abwässern in Erholungsgebieten	243
3.3.2.6	Nutzung von Abwässern für landwirtschaftliche Zwecke	244

3.4	Rückgewinnung von Energie	247
------------	----------------------------------	-----

3.4.1	Energiegewinnung durch Wärmeaustausch	247
3.4.2	Energiegewinnung durch Verbrennung hochorganischer Abwässer und Schlämme	247
3.4.3	Energiegewinnung durch Biogasproduktion	248
3.4.4	Energiegewinnung durch anaerobe Behandlung flüssiger Stallabgänge	249

3.5	Rückgewinnung von wertvollen Stoffen aus Industrie- abwässern	252
------------	--	-----

4	Sammeln und Ableiten des Abwassers	259
4.1	Definitionen	260
4.1.1	Abwasserbeseitigungsverfahren	260
4.1.2	Teile der Kanalisation	261
4.1.3	Abwasserbeseitigungsschema	263
4.2	Arten von Entwässerungssystemen und Entwässerungsverfahren	266
4.2.1	Entwässerungs- oder Abwasserbeseitigungssysteme	266
4.2.2	Entwässerungsverfahren	267
4.2.2.1	Misch- und Trennkanalisation	267
4.2.2.2	Druckkanalisation und Vakuumkanalisation	270
4.2.2.2.1	Druckkanalisation	271
4.2.2.2.2	Vakuumkanalisation	272
4.2.2.3	Andere Verfahren	274
4.3	Planung von Entwässerungssystemen	275
4.3.1	Inhalt des Entwurfes	275
4.3.2	Kriterien für den Entwurf einer Abwasserbeseitigungsanlage	277
4.3.2.1	Wahl des Kanalisationssystems	277
4.3.2.2	Wahl des Kanalisationsverfahrens	280
4.3.2.3	Planung des städtischen Entwässerungsnetzes	281
4.3.2.4	Entfernung der Rückstände aus dem Abwassernetz	283
4.3.2.5	Wahl des Vorfluters	284
4.3.2.6	Wahl des Kanalisationsnetzsystems	285
4.3.2.7	Einteilung und Abgrenzung der Einzugsgebiete der jeweiligen Sammler	288
4.3.3	Ermittlung der Abwassermengen	290
4.3.3.1	Berechnung der häuslichen Abwässer	290
4.3.3.2	Berechnung des Fremdwassers	292
4.3.3.3	Berechnung des gewerblichen und industriellen Schmutzwassers	292
4.3.3.4	Berechnung des Trockenwetterabflusses	293
4.3.3.5	Berechnung des Niederschlagswassers	294
4.3.3.6	Berechnung des Abflusses von Oberflächengewässern	301
4.3.3.7	Durchführung der Berechnungen	301
4.3.4	Hydraulische Berechnung des Kanalisationsnetzes	303
4.3.4.1	Allgemeine Kennwerte	303
4.3.4.2	Theoretische Grundlagen	306
4.3.4.3	Berechnung der Leitungen	308
4.3.4.3.1	Berechnung der Rohre und Kanäle	309
4.3.4.3.1.1	Feststellung der Reibungsverluste	309
4.3.4.3.1.2	Feststellung des Gesamtabflusses	326
4.3.4.3.1.3	Ermittlung der geschlossenen Kanalquerschnitte mit natürlichem Wassergefälle	326
4.3.4.3.1.4	Ermittlung der offenen Kanalquerschnitte	332
4.3.4.3.1.5	Ermittlung der Querschnitte für Druckrohrleitungen	334

XII

4.3.4.3.1.6	Berechnung der Überläufe	336
4.3.4.3.1.7	Der hydraulische Druckstoß	345
4.3.5	Statische Berechnungen der Abwasserleitungen	347
4.3.6	Linienführung der Kanäle, Gefälle und Tiefenlage	348
4.3.6.1	Trassenführung	348
4.3.6.2	Gefälle	351
4.3.6.3	Hydraulische Bedingungen	354
4.3.6.4	Zeichnerische Darstellung	357
4.4	Bauteile von Entwässerungssystemen	363
4.4.1	Leitungen	365
4.4.1.1	Offene Kanäle	365
4.4.1.2	Geschlossene Kanäle	366
4.4.1.2.1	Beton- und Stahlbetonrohre	366
4.4.1.2.2	Steinzeugrohre	369
4.4.1.2.3	Kanäle in Ortbeton und Sonderausführung	369
4.4.1.2.5	Kunststoffrohre und Rohre mit Kunststoffbeschichtungen	370
4.4.1.2.5	Gußeiserne Rohre	372
4.4.1.2.6	Stahlrohre	372
4.4.2	Bauwerke	372
4.4.2.1	Hausanschlüsse	373
4.4.2.2	Straßenabläufe	374
4.4.2.3	Einlaufbauwerke	376
4.4.2.4	Schächte	377
4.4.2.5	Verbindungsbauwerke	379
4.4.2.6	Absturzbauwerke	382
4.4.2.7	Spülkammer	382
4.4.2.8	Regenentlastungen	383
4.4.2.8.1	Regenüberläufe (RÜ)	383
4.4.2.8.2	Regenüberlaufbecken (RÜB)	384
4.4.2.8.3	Fangbecken (FB)	385
4.4.2.9	Pumpstationen	387
4.4.2.10	Kreuzungsbauwerke	395
4.5	Verlegung der Rohrleitungen	395
4.5.1	Beginn der Bauarbeiten - Trassenführung	396
4.5.2	Erdaushub	399
4.5.3	Baugrubenverkleidung	401
4.5.3.1	Waagerechter Grabenverbau	402
4.5.3.1.1	Grundlagen der Erddrucktheorie	403
4.5.3.2	Senkrechter Grabenverbau	411
4.5.3.2.1	Bemessungsbeispiel für den senkrechten Grabenverbau	415
4.5.3.3	Geschlossene Bauweise	423
4.5.4	Rohrlagerung	426
4.5.4.1	Fertigteil-Rohre	426
4.5.5	Besondere Bauwerke	437
4.5.5.1	Kanalausmündungen	437

4.5.5.2	Verbau großer Gruben	437
4.5.5.3	Wehre	438
4.5.5.4	Spezielle Schalungen	440
4.6	Betrieb und Wartung von Kanalnetzen	440
4.6.1	Abnahme der Kanalisation	441
4.6.2	Betrieb und Unterhaltung der Kanäle und der dazugehörigen Einrichtungen	444
4.6.2.1	Betrieb	444
4.6.2.2	Sicherheitsmaßnahmen im Kanalnetz	446
4.6.3	Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Kanalnetzen	447
5	Beseitigungsbedingungen für industrielle und kommunale Abwässer und deren Schlämme	449
5.1	Allgemeine Anforderungen für die Industrieabwasserab- leitung in öffentlichen Abwasseranlagen (Indirekteinleiter)	449
5.1.1	Allgemeine Anforderungen und Vorschriften für die Kanalisation	451
5.1.2	Allgemeine Anforderungen und Vorschriften für die öffent- liche Abwasseranlage	454
5.2	Allgemeine Anforderungen und Vorschriften für die Industrieabwassereinleitung in öffentliche Gewässer (Direkteinleiter)	459
5.2.1	Immissions-Grenzwerte	460
5.2.2	Gewässergüteklassen	461
5.2.3	Immissionswerte (EG-Normen)	462
5.2.4	Emissions-Grenzwerte	482
5.2.4.1	Mindestanforderungen (Emissionswerte)	483
5.3	Kontrolle der einzuhaltenden Parameter	504
5.3.1	Kontrolle der Emissionswerte im Zulauf zur Abwasseranlage	504
5.3.2	Kontrolle der Emissionswerte im Auslauf der Kläranlage	506
5.3.3	Kontrolle der Immissionswerte	506
5.4	Verordnung für das Aufbringen von Klärschlamm in der Landwirtschaft	508
6	Behandlung des Abwassers	513
6.1.	Verfahren der Abwasserreinigung	513
6.2.	Mechanische Reinigung	520
6.2.1	Grobstoffabscheidung	522

XIV

6.2.1.1	Rechen	522
6.2.1.2	Siebe	527
6.2.1.3	Filter	531
6.2.1.3.1	Filter mit Grobsand- oder Feinkiesfüllung	532
6.2.1.3.2	Trommelfilter	535
6.2.1.3.3	Saugfilter	537
6.2.1.3.4	Scheibenfilter	537
6.2.1.3.5	Druckfilter	538
6.2.2	Schwerkraftabscheidung	538
6.2.2.1	Flotationsanlagen	541
6.2.2.1.1	Fett- und Ölabscheider	546
6.2.2.1.2	Mineralölabscheider	549
6.2.2.1.3	Benzinabscheider	553
6.2.2.2	Sedimentationsanlagen	554
6.2.2.2.1	Sandfänge	558
6.2.2.2.2	Absetzbecken	566
6.2.2.2.2.1	Rechteckbecken	570
6.2.2.2.2.2	Rundbecken	575
6.2.2.2.2.3	Zweistöckige Absetzbecken	578
6.2.2.2.2.4	Lamellenabsetzbecken	582
6.2.2.2.2.5	Vertikal durchflossene Absetzbecken	583
6.2.2.2.2.6	Andere Typen von Absetzbecken	585
6.2.3	Ausgleichsbecken	585
6.3	Chemische Verfahren der Abwasserbehandlung	588
6.3.1	Behandlungsmethoden	589
6.3.1.1	Neutralisation	589
6.3.1.2	Flockung	591
6.3.1.2.1	Allgemeiner Flockungsvorgang	591
6.3.1.2.2	Flockungsfällung als einzige Stufe der Abwasserbehandlung, Vorfällung	598
6.3.1.2.3	Nachfällung	599
6.3.1.2.4	Simultanfällung	601
6.3.1.3	Adsorption	603
6.3.1.4	Extraktion mit Lösungsmitteln	606
6.3.1.5	Membranseparation (Ultrafiltration, umgekehrte Osmose)	607
6.3.1.6	Destillation	609
6.3.1.7	Oxidation	609
6.3.1.8	Reduktion	611
6.3.1.9	Ionenaustauschverfahren	611
6.3.1.10	Andere physikalisch-chemische Behandlungsverfahren	613
6.3.1.10.1	Ausdämpfen (Strippen)	613
6.3.1.10.2	Belüftung	614
6.3.1.10.3	Begasung mit Kohlensäure oder Rauchgasen	614
6.3.1.10.4	Eindampfen	614
6.3.1.10.5	Gefrierverfahren	615
6.3.1.10.6	Kristallisation	615

6.3.1.10.7	Elektrolyse	615
6.3.1.10.8	Dialyse	615
6.3.2	Verwendung von Chemikalien bei der Abwasserbehandlung	616
6.3.2.1	Handelsübliche Aluminium- und Eisensalze	617
6.3.2.2	Sonstige Eisen- und Aluminiumsalze	620
6.3.2.3	Handelsübliche polymere Flockungsmittel	621
6.3.2.4	Kalkhydrat	622
6.4.	Biologische Verfahren in der Abwasserreinigung	623
6.4.1	Allgemeine Grundkenntnisse	624
6.4.1.1	Beschaffenheit der Mikroorganismen	624
6.4.1.2	Stoffwechselforgänge	630
6.4.1.2.1	Einflaßfaktoren auf die biologischen Vorgänge bei Behandlung gewerblicher Abwässer	631
6.4.2	Abbauvorgänge	633
6.4.2.1	Aerober Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen	633
6.4.2.2	Nitrifikation	633
6.4.2.3	Denitrifikation	637
6.4.2.4	Desulfurikation	642
6.4.2.5	Gärungen	643
6.4.2.6	Sonstige an den Reinigungsprozessen beteiligte Mikroorganismen	644
6.4.3	Voraussetzung für die Anwendung biologischer Verfahren	645
6.4.3.1	Verhältnis BSB ₅ zu CSB	645
6.4.3.2	pH-Wert	646
6.4.3.3	Temperatur	648
6.4.3.4	Notwendige Mineralstoffe	650
6.4.3.5	Hemm- und Giftstoffe	651
6.4.3.5.1.	Festlegung von Grenzwerten für Stoffe	652
6.4.3.5.2	Störungen der Methangärung von Klärschlamm in städtischen Klärwerken	654
6.4.3.5.3	Störungen des aeroben Abbaues in der Belebungsanlage eines städtischen Klärwerks durch Chromat	655
6.4.3.5.4	Störungen in den biologischen Reinigungsprozessen	656
6.4.4	Biologische Abwasserbehandlungsverfahren	657
6.4.4.1	Anlagen für biologische Abwasserreinigung	657
6.4.4.2	Abwasserteiche	658
6.4.4.2.1	Absetzteiche	662
6.4.4.2.2	Unbelüftete Abwasserteiche	663
6.4.4.2.3	Belüftete Abwasserteiche	664
6.4.4.2.4	Schönungsteiche	666
6.4.4.2.5	Sicherheitsteiche	666
6.4.4.2.6	Abwasserfischteiche	667
6.4.4.3	Tropfkörperverfahren	667
6.4.4.3.1	Allgemeine Grundlagen	667
6.4.4.3.2	Tropfkörperbestandteile	674
6.4.4.3.3	Bemessung der Tropfkörper	678

6.4.4.3.4	Turmtropfkörper	686
6.4.4.4	Tauchtropfkörper	687
6.4.4.5	Belebungsanlagen	693
6.4.4.5.1	Allgemeine Grundkenntnisse	693
6.4.4.5.2	Belebter Schlamm	695
6.4.4.5.3	Sauerstoff	698
6.4.4.5.3.1	Belüftung mit atmosphärischer Luft	701
6.4.4.5.3.2	Verfahrensarten	702
6.4.4.5.3.3	Belüftung mit reinem Sauerstoff (Sauerstoffbegasung)	706
6.4.4.5.4	Belüftungseinrichtungen	710
6.4.4.5.4.1	Druckbelüftung	711
6.4.4.5.4.2	oberflächenbelüftung	714
6.4.4.5.4.3	Kombinierte und sonstige Belüfter	718
6.4.4.5.5	Bemessung von Belebungsanlagen	719
6.4.4.5.5.1	Bemessung von Belebungsanlagen zur Nitrifikation und Denitrifikation	728
6.4.4.5.6	Zweistufige Kläranlagen	738
6.4.4.5.6.1	Zweistufige Tropfkörperanlagen	738
6.4.4.5.6.2	Zweistufige Belebungsanlagen	739
6.4.4.5.6.3	Tropfkörper-Beleungsverfahren	740
6.4.4.5.6.4	Belebungs-Tropfkörperverfahren	742
6.4.4.5.6.5	Nachschtaltung von Schönungsteichen	744
6.4.4.6	Anaerobe Abwasserbehandlung	746
6.4.4.7	Nachklärung	749
6.4.4.7.1	Nachklärbecken nach Tropfkörperanlagen	749
6.4.4.7.2	Nachklärbecken von Belebungsanlagen	752
6.4.4.7.2.1	Horizontal durchströmte Nachklärbecken	755
6.4.4.7.2.2.	Vertikal durchströmte Nachklärbecken	761
6.4.4.7.3	Hinweise für die konstruktive Ausbildung der Nachklärbecken	763
6.5	Verfahren der physikalischen und physikalisch-chemischen Abwasserbehandlung	765
6.5.1	Suspensaentnahme	767
6.5.1.1	Einbauten im Absetzraum	767
6.5.1.2	Mikrosiebung	770
6.5.1.3	Filtration	771
6.5.1.3.1	Sandfilter	774
6.5.1.3.2	Bodenfiltration	776
6.5.1.3.3	Ultrafiltration - Hyperfiltration	777
6.5.2	Elimination gelöster organischer Substanzen	779
6.5.2.1	Aktivkohleadsorption	780
6.5.2.2	Oxidation mit Ozon	785
6.5.2.3	Desorption flüchtiger Stoffe	786
6.5.2.4	Umgekehrte Osmose (Hyperfiltration)	786
6.5.3	Nährstoffelimination	788
6.5.3.1	Elimination des Stickstoffs	789
6.5.3.1.1	Stickstoffelimination durch mikrobiologische Prozesse	790

6.5.3.1.1.1	Stickstoffelimination in Belebungsanlagen	790
6.5.3.1.1.2	Stickstoffelimination in Festbettreaktoren	790
6.5.3.1.1.3	Stickstoffelimination in Oxidationsteichen	791
6.5.3.1.2	Stickstoffelimination durch physikalisch-chemische Verfahren	791
6.5.3.1.2.1	Ammoniak-Desorption (Stripping)	791
6.5.3.1.2.2	Selektiver Ionenaustausch	792
6.5.3.1.2.3	Knickpunktchlorung	793
6.5.3.2	Elimination des Phosphors	794
6.5.3.2.1	Elimination des Phosphors durch biologische Behandlungsverfahren	794
6.5.3.2.1.1	Konventionelle Belebungsverfahren	795
6.5.3.2.1.2	Teichbehandlung	796
6.5.3.2.1.3	Algen-Phosphat-Elimination	797
6.5.3.2.2	Elimination des Phosphors durch physikalisch-chemische Verfahren	797
6.5.3.2.2.1	Eisen-Phosphat-Fällung	798
6.5.3.2.2.2	Aluminium-Phosphat-Fällung	798
6.5.3.2.2.3	Kalk-Phosphat-Fällung	799
6.5.3.2.2.4	Behandlungsverfahren	799
6.5.4	Elimination gelöster anorganischer Substanzen	800
6.5.4.1	Ionenaustauschverfahren	801
6.5.4.2	Elektrodialyse	801
6.5.4.3	Hyperfiltration	802
6.6	Gewerbliche und industrielle Abwasserbehandlung	803
6.6.1.	Anorganisch-industrielles Abwasser	804
6.6.1.1	Abwässer von Mörtel-, Kalksandstein-, Zement- und Porzellanwerken	804
6.6.1.2	Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	806
6.6.1.2.1	Abwässer der Eisenhütten	806
6.6.1.2.2	Abwässer von Stahl- und Walzwerken	809
6.6.1.2.3	Abwässer von Maschinenfabriken und mechanischen Werkstätten	810
6.6.1.2.4	Abwässer von Metallbeizereien	811
6.6.1.2.5	Abwässer aus Eloxalbetrieben	813
6.6.1.2.6	Sonstige Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	813
6.6.1.2.6.1	Chromatentgiftung	815
6.6.1.2.6.2	Cyanidentgiftung	818
6.6.1.2.6.3.	Neutralisation	825
6.6.1.3	Abwässer aus Bergwerken und Erzaufbereitungsanlagen	829
6.6.1.3.1	Grubenwässer	829
6.6.1.3.2	Waschkauenwässer	829
6.6.1.3.3	Abwässer der Kohlenwäsche	830
6.6.1.3.4	Abwässer von Steinkohlekokereien	830
6.6.1.3.5	Abwässer aus Steinkohle-Schwelereien	832
6.6.1.3.6	Abwässer der Holzkohleherstellung	833
6.6.1.4	Abwässer der chemischen Industrie	833

XVIII

6.6.1.4.1	Abwässer von Mineralsäurefabriken	833
6.6.1.4.2	Abwässer der Kaliindustrie	834
6.6.1.4.3	Abwässer von Sodafabriken	835
6.6.1.4.4	Abwässer von Düngemittelfabriken	835
6.6.1.4.5	Abwässer der Goldschwefelfabriken	836
6.6.2	Organisches industrielles Abwasser	836
6.6.2.1	Abwässer der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie	838
6.6.2.1.1	Abwässer der Kosmetik-Industrie	838
6.6.2.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung von Farbstoff	839
6.6.2.2.1	Anorganische Farbstoffabwässer	839
6.6.2.2.2	Organische Farbstoffe	840
6.6.2.3	Abwässer aus der Herstellung von Seifen und synthetischen Waschmitteln	842
6.6.2.3.1	Abwässer von Seifenfabriken	842
6.6.2.3.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung synthetischer Waschmittel	843
6.6.2.4	Abwässer der Kunststoffindustrie	844
6.6.2.4.1	Abwässer der Kunststoffindustrie auf Cellulosebasis	844
6.6.2.4.2	Abwässer der Kunststoffindustrie (Kondensationsprodukte)	844
6.6.2.4.3	Abwässer der Kunststoffindustrie (Polymerisationsprodukte)	845
6.6.2.5	Abwässer aus Gerbereien und Lederfabriken	846
6.6.2.5.1	Abwässer von Gerbereien	846
6.6.2.5.2	Abwässer von Lederfabriken	847
6.6.2.6	Abwässer der Textilindustrie	847
6.6.2.6.1	Abwässer von Spinnstofffabriken	848
6.6.2.6.1.1	Abwässer der Flachs- und Hanfröstoffabriken	848
6.6.2.6.1.2	Abwässer der Seidenkochereien	849
6.6.2.6.1.3	Abwässer der Kunstseide- und Zellwollefabriken	850
6.6.2.6.2	Abwässer der Baumwollbleichereien	851
6.6.2.6.3	Abwässer der Wollwäschereien	851
6.6.2.6.4	Abwässer von Tuchfabriken	852
6.6.2.7	Abwässer der Zellstoff-, Papier- und Pappefabriken	852
6.6.2.7.1	Abwässer von Holzschleifereien	852
6.6.2.7.2	Abwässer von Zellstofffabriken	853
6.6.2.7.2.1	Abwässer der Sulfitzellstofffabriken	854
6.6.2.7.2.2	Abwässer der Sulfatzellstofffabriken	855
6.6.2.7.2.3	Abwässer der Strohzellstofffabriken	856
6.6.2.7.2.4	Abwässer von Papierfabriken	856
6.6.2.7.2.5	Abwässer von Strohappenfabriken	858
6.6.2.7.2.6	Abwässer aus der Herstellung von Holzfaserplatten mittels Naßverfahren	859
6.6.2.8	Abwässer der erdölverarbeitenden Industrie	860
6.6.2.8.1	Abwässer der Erdölförderung auf Bohrfeldern	860
6.6.2.8.2	Abwässer aus Mineralö Raffinerien	860
6.6.2.8.3	Abwässer petrochemischer Anlagen	862
6.6.2.8.4	Abwässer von Tankstellen	862
6.6.2.9	Abwässer aus der Lebensmittelindustrie	862

6.6.2.9.1	Abwässer der Zuckendustne	863
6.6.2.9.2	Abwässer aus Milchverarbeitungsbetrieben	864
6.6.2.9.3	Abwässer aus der Herstellung nichtalkoholischer Getränke	865
6.6.2.9.4	Abwässer von Brauereien	866
6.6.2.9.5	Abwässer von Margarine-, Speisefett- und Ölfabriken	867
6.6.2.9.6	Abwässer von Schlachthöfen und Fleischwarenfabriken	868
6.6.2.9.7	Abwässer bei der Herstellung von Fischkonserven	868
6.6.2.9.8	Abwässer aus Obst- und Gemüsekonservenfabriken	869
6.6.2.9.9	Abwässer der Stärkeherstellung und Kartoffelchipsverarbeitung	870
6.6.2.9.10	Abwässer von Betrieben der Weinbereitung und Sektherstellung	871
6.6.2.10	Abwässer von Tierkörperbeseitigungsanlagen	872
6.6.2.11	Abwässer von Fischmehlfabriken	873
6.7	Die Behandlung von Rückständen der Abwasserreinigung	874
6.7.1	Rechengut	874
6.7.2	Sandfanggut	876
6.7.3	Öl- und Fettfanggut	877
6.7.4	Schlammbehandlung	879
6.7.4.1	Menge und Beschaffenheit der Schlämme	880
6.7.4.1.1	Menge der Schlämme	881
6.7.4.1.2.	Beschaffenheit der Schlämme	886
6.7.4.2	Stabilisierung von Frischschlamm	893
6.7.4.2.1	Anaerobe Stabilisierung (Faulung)	897
6.7.4.2.1.1	Unbeheizte Faulräume	898
6.7.4.2.1.2	Beheizte Faulräume	900
6.7.4.2.2	Die aerobe Stabilisierung	913
6.7.4.3	Schlammmentwässerung	919
6.7.4.3.1	Eindickung	923
6.7.4.3.2	Natürliche Entwässerung	927
6.7.4.3.3	Schlammkonditionierung	931
6.7.4.3.4	Künstliche Entwässerung	935
6.7.4.3.4.1	Entwässerung in Zentrifugen	936
6.7.4.3.4.2	Entwässerung mit Bandfiltern	937
6.7.4.3.4.3	Entwässerung mit Filterpressen	939
6.7.4.3.4.4	Entwässerung durch Unterdruckfiltration (Vakuumfiltration)	942
6.7.4.4	Verwertung und Beseitigung des Schlammes	943
6.7.4.4.1	Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft	943
6.7.4.4.1.1	Pasteurisierung	944
6.7.4.4.1.2	Aerob-thermophile Schlammbehandlung	945
6.7.4.4.1.3	Schlammverfestigung mit Branntkalk	946
6.7.4.4.1.4	Mietenkompostierung	946
6.7.4.4.1.5	Kompostierung in Bioreaktoren	946
6.7.4.4.1.6	Schwermetallproblematik	947
6.7.4.4.1.7	Organisch-persistente Schadstoffe	949
6.7.4.4.2	Klärschlammablagerung auf Deponien	950
6.7.4.4.3	Kompostierung von Klärschlamm	951
6.7.4.4.4	Schlamm-trocknung und Schlammverbrennung (thermische Verwertung)	951

7	Probenahme, Untersuchung und Beurteilung von Abwässern und Abwasserschlamm	955
7.1	Probenahme von Abwasser und Schlamm	955
7.1.1	Ortsbesichtigung	958
7.1.2	Arten der Probenahme für Abwässer	959
7.1.2.1	Allgemeine Hinweise	959
7.1.2.2	Ausgewählte Hinweise auf die Praxis der Probenahme von Abwasser	963
7.1.2.2.1	Stichproben	963
7.1.2.2.2	Zeitabhängige Probenahme	963
7.1.2.2.3	, Mengenabhängige Probenahme	965
7.1.2.2.4	Abwassermengen-Messung	966
7.1.2.2.5	Induktive Messung	966
7.1.2.2.6	VENTURI-Prinzip	968
7.1.2.2.7	Mengenabhängige Probennahme von Hand	971
7.1.2.2.8	Mengenabhängige Probennahme mit Geräten	972
7.1.2.2.9	Schlammprobenahme	975
7.2	Abwasseruntersuchungen	976
7.2.1	Allgemeines zu Laboratoriumsanalysen	977
7.2.2	Analyse der Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen gemäß Anlage A Abwasserabgabegesetz	980
7.2.3	Eigenüberwachung von Abwasseranlagen	986
7.2.4	Ab wassereigenkontroll Verordnung (Beispiel für eine gesetzliche Regelung)	991
7.2.4.1	Anforderungen für biologische Abwasseranlagen an Art, Anzahl und Umfang der mindestens vorzunehmenden Messungen und Untersuchungen	993
7.2.5	Allgemeine Beurteilung der Ergebnisse	996
8	Literaturverzeichnis	1001
9	Abbildungsverzeichnis	1023
10	Tabellenverzeichnis	1037
11	Stichwortverzeichnis	1049