

# Abwassertechnologie

Entstehung, Ableitung,  
Behandlung, Analytik der Abwässer

Herausgegeben im Auftrag der

**Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH  
(gtz)**

vom

**Institut Fresenius GmbH**

**Taunusstein-Neuhof**

**W. Fresenius und W. Schneider**

und dem

**Forschungsinstitut für**

**Wassertechnologie**

**an der RWTH Aachen (FiW)**

**B. Böhnke und K. Pöppinghaus**

**Redaktion: E. Blitz • W. Czysz**

Mit 301 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984

# Inhaltsverzeichnis

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	<u>KLASSIFIZIERUNG DER ABWÄSSER</u>	1
1.2	DIE BESCHAFFENHEIT DER ABWÄSSER	3
1.3	SCHÄDLICHKEIT DES ABWASSERS BEI EINLEITUNG IN EIN GEWÄSSER	6
2	<u>ABWASSERARTEN UND ABWASSERMENGEN</u>	12
2.1	HÄUSLICHES SCHMUTZWASSER	12
2.1.1	Entstehung und Arten der häuslichen Schmutzwässer	12
2.1.2	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers privater Haushalte	13
2.1.2.1	Menge des häuslichen Schmutzwassers	13
2.1.2.2	Zusammensetzung des häuslichen Schmutzwassers	17
2.1.3	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers öffentlicher Gebäude	19
2.1.4	Menge und Zusammensetzung des Schmutzwassers von Touristenanlagen	21
2.1.4.1	Gasthäuser	21
2.1.4.2	Hotels	21
2.1.4.3	Campinganlagen	22
2.1.4.4	Organisierte Strände	22
2.2	KOMMUNALES SCHMUTZWASSER	23
2.2.1	Menge des kommunalen Schmutzwassers	23
2.2.2	Schwankungen des Schmutzwasseranfalls	29
2.2.3	Schmutzmenge je Einwohner	31
2.2.4	Schmutzkonzentration	40
2.2.5	Schwankungen der Schmutzkonzentration und der Schmutzfracht	41
2.3	FREMDWASSER	42
2.3.1	Fremdwasserarten	42
2.3.2	Entstehung und Menge der Fremdwasserarten	43
2.4	GEWERBLICHE UND INDUSTRIELLE ABWASSERMENGEN	44
2.4.1	Anorganisches industrielles Abwasser	60
2.4.1.1	Abwasser aus dem Bereich der Industriegruppe Steine und Erden	61

2.4.1.2	Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	62
2.4.1.2.1	Abwässer der Eisenhütten	64
2.4.1.2.2	Abwässer von Stahl- und Walzwerken	64
2.4.1.2.3	Abwässer von Maschinenfabriken und mechanischen Werkstätten	66
2.4.1.2.4	Abwässer von Metallbeizereien	66
2.4.1.2.5	Abwässer von Eloxitbetrieben	70
2.4.1.2.6	Abwässer galvanotechnischer Betriebe	71
2.4.1.3	Abwässer aus Bergwerken und Erzaufbereitungsanlagen	74
2.4.1.3.1	Grubenwässer	74
2.4.1.3.2	Waschkauenabwässer	75
2.4.1.3.3	Abwässer der Kohlenwäschen und Kohlenaufbereitung	76
2.4.1.3.4	Abwässer aus Steinkohlenkokereien	77
2.4.1.3.5	Kokslöschwässer	78
2.4.1.3.6	Abwässer der Holzkohlenherstellung	78
2.4.1.4	Abwässer der chemischen Industrie	79
2.4.1.4.1	Abwässer von Mineralsäurefabriken	79
2.4.1.4.2	Abwässer der Kaliindustrie	80
2.4.1.4.3	Abwässer von Sodafabriken	81
2.4.1.4.4	Abwässer von Düngemittelfabriken	82
2.4.1.4.5	Abwässer von Goldschwefelfabriken	85
2.4.2	Organisches industrielles Abwasser	85
2.4.2.1	Abwässer der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie	86
2.4.2.1.1	Abwässer der pharmazeutischen Industrie	86
2.4.2.1.2	Abwässer der Kosmetik-Industrie	87
2.4.2.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung von Farbstoffen	87
2.4.2.2.1	Anorganische Farbstoffabwässer	88
2.4.2.2.2	Organische Farbstoffabwässer	89
2.4.2.3	Abwässer aus der Herstellung von Seifen und synthetischen Waschmittelfabriken	91
2.4.2.3.1	Abwässer von der Herstellung der Seifen aus Fettsäure	91
2.4.2.3.2	Abwässer von synthetischen Waschmittelfabriken	93
2.4.2.4	Abwässer der Kunststoffindustrien	98
2.4.2.4.1	Abwässer der Kunststoffindustrie auf Cellulosebasis	98
2.4.2.4.2	Abwässer der Kunststoffindustrie als Kondensationsprodukte	99
2.4.2.4.3	Abwässer der Kunststoffindustrie als Polymerisationsprodukte	101
2.4.2.5	Abwässer aus Gerbereien und Lederfabriken	103
2.4.2.5.1	Abwässer aus Gerbereien	103
2.4.2.5.2	Abwässer von Lederfabriken	109
2.4.2.6	Abwässer der Textilindustrie	109
2.4.2.6.1	Abwässer von Spinnfabriken	110
2.4.2.6.1.1	Abwässer der Flachs- und Hanfrötfabriken	110
2.4.2.6.1.2	Abwässer der Seidenkochereien	114
2.4.2.6.1.3	Abwässer der Kunstseide- und Zellwollefabriken	116
2.4.2.6.2	Abwässer der Baumwollbleichereien	120

2.4.2.6.3	Abwässer der Wollewäschereien	121
2.4.2.6.4	Abwässer von Tuchfabriken	122
2.4.2.7	Abwässer der Holzverarbeitungs-, Zellstoff-, Papier- und Pappefabriken	126
2.4.2.7.1	Abwässer von Holzverarbeitungs-, Holzstofffabriken, Holzsleifereien	127
2.4.2.7.2	Abwässer von Zellstofffabriken	130
2.4.2.7.2.1	Abwässer von Sulfitzellstofffabriken	130
2.4.2.7.2.2	Abwässer von Sulfatzellstofffabriken	132
2.4.2.7.3	Abwässer von Strohzellstofffabriken	132
2.4.2.7.4	Abwässer von Papierfabriken	132
2.4.2.7.5	Abwässer von Strohpappfabriken	135
2.4.2.7.6	Abwässer aus der Herstellung von Holzfaserplatten mittels Naßverfahren	136
2.4.2.8	Abwässer der erdölverarbeitenden Industrie	138
2.4.2.8.1	Abwässer der Bohrfelder	138
2.4.2.8.2	Abwässer der Erdölraffinerien	139
2.4.2.8.3	Abwässer petrochemischer Anlagen	142
2.4.2.8.4	Mineralölhaltige Abwässer von öllagerstätten, Tankstellen und Werkstätten	144
2.4.2.9	Abwässer aus der Lebensmittelindustrie	145
2.4.2.9.1	Abwässer der Zuckerfabriken	154
2.4.2.9.1.1	Rübenzucker	154
2.4.2.9.1.2	Zucker aus Zuckerrohr	156
2.4.2.9.2	Abwässer von Milchverarbeitungsbetrieben	159
2.4.2.9.3	Abwässer der nichtalkoholischen Getränkebetriebe	164
2.4.2.9.4	Abwässer der Brauereien	166
2.4.2.9.5	Abwässer von Margarine-, Speisefett- und ölfabriken	170
2.4.2.9.6	Abwässer von Schlachthöfen und Fleischwarenfabriken	173
2.4.2.9.7	Abwässer aus Fischkonservenfabriken	176
2.4.2.9.8	Abwässer aus der Obst- und Gemüsekonservenfabrikation	179
2.4.2.9.9	Abwässer der Stärkeherstellung und Kartoffelverarbeitung	183
2.4.2.9.9.1	Abwässer der Kartoffelstärkeindustrie	183
2.4.2.9.9.2	Abwässer der Weizenstärkefabriken	186
2.4.2.9.9.3	Abwässer der Maisstärkefabriken	188
2.4.2.9.9.4	Abwässer der Reisstärkefabriken	189
2.4.2.9.9.5	Abwässer der Stärkezucker- und -sirupfabriken	189
2.4.2.9.9.6	Abwässer der Kartoffeltrocknungserzeugnisse	189
2.4.2.9.9.7	Abwässer von Kartoffelchips herstellenden Betrieben	190
2.4.2.9.10	Abwässer von Betrieben der Weinbereitung	190
2.4.2.10.	Abwässer von Pflanzen- und Tierabfälle verarbeitenden Betrieben	193
2.4.2.10.1	Landwirtschaftliche Abwässer	193
2.4.2.10.1.1	Abwässer von Pektinfabriken	196
2.4.2.10.1.2	Abwässer von Darmsaiten- und Darmzubereitungsanlagen	198
2.4.2.10.1.3	Verwertung tierischer Exkremente	199
2.4.2.10.2	Abwässer von Tierkörperbeseitigungsanlagen	200
2.4.2.10.3	Abwässer von Fischmehlfabriken	202

2.5	<b>NIEDERSCHLAGSWASSER</b>	204
2.5.1	Niederschlagsarten	204
2.5.2	Verschmutzung des Niederschlagswassers	206
2.5.2.1	Atmosphärische Verunreinigungen	206
2.5.2.2	Bodenoberflächenverunreinigungen	207
2.5.3	Verschmutzung des Regenwetterabflusses in der Kanalisation	211
2.5.3.1	Verschmutzung des Abflusses in Mischkanalisationen	211
2.5.3.2	Verschmutzung des Abflusses in Trennkanalisationen	212
2.6	<b>SONSTIGE BRAUCHWÄSSER</b>	213
2.6.1	Meerwasser	213
2.6.2	Wiederverwendetes Wasser	214
2.6.2.1	Mehrfachnutzung und Rückführung von Abwässern in der Industrie	217
2.6.2.1.1	Rücknahme von Abwässern im eigenen Betrieb	217
2.6.2.2	Verwendung von Abwasser in anderen Bereichen	222
2.6.2.2.1	Wiederverwendung von Abwasser für Trink- und Badezwecke	222
2.6.2.2.2	Indirekte Verwendung von Abwasser für Trinkwassergewinnung	223
2.6.2.2.3	Verwendung von Abwasser in doppelten (dualen) Wasserversorgungsanlagen	224
2.6.2.2.3.1	Abwassernutzung für die Grundwasseranreicherung	224
2.6.2.2.4	Verwendung von Abwässern in Erholungsgebieten	225
2.6.2.2.5	Nutzung von Abwässern für landwirtschaftliche Zwecke	226
2.6.2.2.6	Rückgewinnung von wertvollen Stoffen aus Industrieabwässern	228
<b><u>ABWASSERBESEITIGUNG IN LÄNDLICHEN GEBIETEN UND KLEINEN ORTSCHAFTEN</u></b>		233
4	<b><u>SAMMELN UND ABLEITEN DES ABWASSERS</u></b>	234
4.1	<b>DEFINITIONEN</b>	235
4.1.1	Abwasserbeseitigungsverfahren	235
4.1.2	Teile der Kanalisation	236
4.1.3	Abwasserbeseitigungs-Schema	238
4.2	<b>ARTEN VON ENTWÄSSERUNGSSYSTEMEN UND ENTWÄSSERUNGSVERFAHREN</b>	240
4.2.1	Entwässerungs-oder Abwasserbeseitigungssysteme	240
4.2.2	Entwässerungsverfahren	241
4.2.2.1	Misch- und Trennkanalisation	241
4.2.2.2	Druckkanalisation und Vakuumkanalisation	244
4.2.2.2.1	Die Druckkanalisation	245
4.2.2.2.2	Die Vakuumkanalisation	246
4.2.2.3	Andere Verfahren	248

4.3	PLANUNG VON ENTWÄSSERUNGSSYSTEMEN	249
4.3.1	Inhalt des Entwurfes	250
4.3.2	Kriterien für den Entwurf einer Abwasserbeseitigungsanlage	251
4.3.2.1	Wahl des Kanalisationsschemas	251
4.3.2.2	Wahl des Kanalisations-Verfahrens	254
4.3.2.3	Planung des städtischen Entwässerungsnetzes	255
4.3.2.4	Entfernung der Rückstände aus dem Abwassernetz	257
4.3.2.5	Wahl des Vorfluters	258
4.3.2.6	Die Wahl des Kanalisationsnetzschemas	259
4.3.2.7	Einteilung und Abgrenzung der Einzugsgebiete der jeweiligen Sammler	263
4.3.3	Ermittlung der Abwassermengen	264
4.3.3.1	Berechnung der häuslichen Abwässer	265
4.3.3.2	Berechnung des Fremdwassers	266
4.3.3.3	Berechnung des gewerblichen und industriellen Schmutzwassers	267
4.3.3.4	Berechnung des Trockenwetterabflusses	267
4.3.3.5	Berechnung des Niederschlagswassers	270
4.3.3.6	Berechnung des Abflusses von Oberflächengewässern	275
4.3.3.7	Durchführung der Berechnungen	276
4.3.4	Hydraulische Berechnung des Kanalisationsnetzes	278
4.3.4.1	Allgemeine Kennwerte	278
4.3.4.2	Theoretische Grundlagen	281
4.3.4.3	Berechnung der Leitungen	284
4.3.4.3.1	Berechnung der Rohre und Kanäle	284
4.3.4.3.1.1	Feststellung der Reibungsverluste	284
4.3.4.3.1.2	Feststellung des Gesamtabflusses	300
4.3.4.3.1.3	Ermittlung der geschlossenen Kanalquerschnitte mit natürlichem Wassergefälle	300
4.3.4.3.1.4	Ermittlung der offenen Kanalquerschnitte	306
4.3.4.3.1.5	Ermittlung der Querschnitte für Druckrohrleitungen	307
4.3.4.3.1.6	Berechnung der Überläufe	309
4.3.4.3.1.7	Der hydraulische Druckstoß	318
4.3.5	Statische Berechnungen der Abwasserleitungen	320
4.3.6	Linienführung der Kanäle, Gefälle und Tiefenlage	322
4.3.6.1	Trassenführung	322
4.3.6.2	Gefälle	324
4.3.6.3	Hydraulische Bedingungen	327
4.3.6.4	Zeichnerische Darstellung	330
4.4	BAUTEILE VON ENTWÄSSERUNGSSYSTEMEN	335
4.4.1	Leitungen	337
4.4.1.1	Offene Kanäle	337
4.4.1.2	Geschlossene Kanäle	338
4.4.1.2.1	Beton- und Stahlbetonrohre	338
4.4.1.2.2	Steinzeugrohre	340
4.4.1.2.3	Kanäle in Ortbeton und Sonderausführung	341
4.4.1.2.4	Asbestzementrohre	342
4.4.1.2.5	Kunststoffrohre und Rohre mit Kunststoffbeschichtungen	342

4.4.1.2.6	Gußeiserne Rohre	343
4.4.1.2.7	Stahlrohre	344
4.4.2	Bauwerke	344
4.4.2.1	Hausanschlüsse	344
4.4.2.2	Straßenabläufe	345
4.4.2.3	Einlaufbauwerke	347
4.4.2.4	Schächte	348
4.4.2.5	Verbindungsbauwerke	349
4.4.2.6	Absturzbauwerke	352
4.4.2.7	Spülkammer	352
4.4.2.8	Regenentlastungen	353
4.4.2.8.1	Regenüberläufe	353
4.4.2.8.2	Regenüberlaufbecken	354
4.4.2.8.3	Fangbecken	355
4.4.2.9	Pumpstationen	356
4.4.2.10	Kreuzungsbauwerke	363
4.5	<b>VERLEGUNG DER ROHRLEITUNGEN</b>	363
4.5.1	Beginn der Bauarbeiten - Trassenführung	364
4.5.2	Der Erdaushub	369
4.5.3	Baugrubenverkleidung	371
4.5.3.1	Waagerechter Grabenverbau	371
4.5.3.2	Senkrechter Grabenverbau	378
4.5.4	Rohrlagerung	385
4.5.4.1	Fertigteil-Rohre	385
4.5.5	Besondere Bauwerke	397
4.5.5.1	Kanalausmündungen	397
4.5.5.2	Verbau großer Gruben	398
4.5.5.3	Wehre	398
4.5.5.4	Spezielle Schalungen	400
4.6	<b>BETRIEB UND WARTUNG VON KANALNETZEN</b>	400
4.6.1	Abnahme der Kanalisation	403
4.6.2	Betrieb und Unterhaltung der Kanäle und der dazugehörigen Einrichtungen	406
4.6.2.1	Betrieb	406
4.6.2.2	Sicherheitsmaßnahmen im Kanalnetz	408
5	<b>BESEITIGUNGSBEDINGUNGEN FÜR INDUSTRIELLE UND KOMMUNALE ABWÄSSER UND DEREN SCHLÄMME</b>	410
5.1	<b>ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN FÜR DIE INDUSTRIEABWASSERABLEITUNG IN ÖFFENTLICHEN ABWASSERANLAGEN (Indirekteinleiter)</b>	410
5.1.1	Allgemeine Anforderungen und Vorschriften für die Kanalisation	413
5.1.2	Allgemeine Anforderungen und Vorschriften für die öffentliche Abwasseranlage	414
5.2	<b>ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN UND VORSCHRIFTEN FÜR DIE INDUSTRIEABWASSEREINLEITUNG IN DIE GEWÄSSER (Direkteinleiter)</b>	419

5.2.1	Gewässer-Güteklassen	420
5.2.2	Immissions-Grenzwerte	423
5.2.3	Emissions-Grenzwerte	424
5.2.4	Nationale und internationale Richtwerte	425
5.2.4.1	Emissionswerte der LAWA	425
5.2.4.2	Mindestanforderungen (Emissionswerte)	444
5.2.4.3	EG-Normen	448
5.2.4.4	Französische Richtwerte	457
5.3	KONTROLLE DER EINZUHALTENDEN PARAMETER	460
5.3.1	Kontrolle der Emissionswerte im Zulauf zur Abwasseranlage	460
5.3.2	Kontrolle der Emissionswerte im Auslauf der Kläranlage	462
5.3.3	Kontrolle der Immissionswerte	462
5.4	VERORDNUNG FÜR DAS AUFBRINGEN VON KLÄRSchlamm IN DER LANDWIRTSCHAFT	463
6	<u>BEHANDLUNG DES ABWASSERS</u>	467
6.1	VERFAHREN DER ABWASSERREINIGUNG	470
6.2	MECHANISCHE REINIGUNG	477
6.2.1	Grobstoffabscheidung	479
6.2.1.1	Rechen	480
6.2.1.2	Siebe	484
6.2.1.3	Filter	488
6.2.1.3.1	Filter mit Grobsand- oder Feinkiesfüllung	489
6.2.1.3.2	Trommelfilter	492
6.2.1.3.3	Saugfilter	494
6.2.1.3.4	Scheibenfilter	494
6.2.1.3.5	Druckfilter	495
6.2.2	Schwerkraftabscheidung	495
6.2.2.1	Flotationsanlagen	498
6.2.2.1.1	Fett- und ölabscheider	503
6.2.2.1.2	Mine r alölab scheider	506
6.2.2.1.3	Benzinabscheider	510
6.2.2.2	Absetzanlagen	512
6.2.2.2.1	Sandfänge	515
6.2.2.2.2	Absetzbecken	521
6.2.2.2.2.1	Rechteckbecken	525
6.2.2.2.2.2	Rundbecken	529
6.2.2.2.2.3	Zweistöckige Absetzbecken	532
6.2.2.2.2.4	Lamellenabsetzbecken	536
6.2.2.2.2.5	Vertikal durchflossene Absetzbecken	537
6.2.2.2.2.6	Andere Typen von Absetzbecken	538
6.2.3	Ausgleichsbecken	539
6.3	CHEMISCHE VERFAHREN DER ABWASSERBEHANDLUNG	541
6.3.1	Behandlungsmethoden	541
6.3.1.1	Neutralisation	542

6.3.1.2	Flockung	544
6.3.1.2.1	Allgemeiner Flockungsvorgang	544
6.3.1.2.2	Flockungsfällung als einzige Stufe der Abwasserbehandlung, Vorfällung	550
6.3.1.2.3	Die Nachfällung	551
6.3.1.2.4	Die Simultanfällung	553
6.3.1.3	Adsorption	555
6.3.1.4	Extraktion mit Lösungsmitteln	558
6.3.1.5	Membranseparation (Ultrafiltration, umgekehrte Osmose)	559
6.3.1.6	Destillation	562
6.3.1.7	Oxidation	562
6.3.1.8	Reduktion	563
6.3.1.9	Ionenaustauschverfahren	564
6.3.1.10	Andere physikalisch-chemische Behandlungsverfahren	566
6.3.1.10.1	Ausdämpfen (Strippen)	566
6.3.1.10.2	Belüftung	566
6.3.1.10.3	Begasung mit Kohlensäure oder Rauchgasen	567
6.3.1.10.4	Eindämpfen	567
6.3.1.10.5	Gefrierverfahren	567
6.3.1.10.6	Kristallisation	567
6.3.1.10.7	Elektrolyse	567
6.3.1.10.8	Dialyse	568
6.3.2	Verwendung von Chemikalien bei der Abwasserbehandlung	568
6.3.2.1	Handelsübliche Aluminium- und Eisensalze	569
6.3.2.2	Sonstige Eisen- und Aluminiumsalze	573
6.3.2.3	Handelsübliche polymere Flockungsmittel	573
6.3.2.4	Kalkhydrat	574
6.4	<b>BIOLOGISCHE VERFAHREN IN DER ABWASSERREINIGUNG</b>	575
6.4.1	Allgemeine Grundkenntnisse	576
6.4.1.1	Beschaffenheit der Mikroorganismen	576
6.4.1.2	Stoff Wechselvorgänge	582
6.4.1.2.1	Einflußfaktoren auf die biologischen Vorgänge bei Behandlung gewerblicher Abwässer	584
6.4.2	Abbauvorgänge	586
6.4.2.1	Aerober Abbau organischer Kohlenstoffverbindungen	586
6.4.2.2	Die Nitrifikation	587
6.4.2.3	Die Denitrifikation	591
6.4.2.4	Die Desulfurikation	593
6.4.2.5	Gärungen	594
6.4.2.6	Sonstige an den Reinigungsprozessen beteiligte Mikroorganismen	595
6.4.3	Voraussetzung für die Anwendung biologischer Verfahren	596
6.4.3.1	Verhältnis BSB zu CSB	596
6.4.3.2	pH-Wert	597
6.4.3.3	Temperatur	599
6.4.3.4	Notwendige Mineralstoffe	601
6.4.3.5	Hemm- und Giftstoffe	603

6.4.3.5.1	Die Festlegung von Grenzwerten für Stoffe	604
6.4.3.5.2	Störungen der Methangärung von Klärschlamm in städtischen Klärwerken	606
6.4.3.5.3	Störungen des aeroben Abbaues in der Belebungsanlage eines städtischen Klärwerks durch Chromat	607
6.4.3.5.4	Störungen in den biologischen Reinigungsprozessen	607
6.4.3.5.5	Störungen des Reinigungsprozesses durch Schwermetalle	608
6.4.4	Biologische Abwasserbehandlungsverfahren	610
6.4.4.1	Anlagen für biologische Abwasserreinigung	613
6.4.4.1.1	Landwirtschaftliche Abwasserverwertung	614
6.4.4.1.1.1	Grundprinzipien	614
6.4.4.1.1.2	Allgemeine Bedingungen	615
6.4.4.1.1.3	Berechnung der Bewässerungsanlagen	621
6.4.4.1.1.4	Bewässerungsarten	623
6.4.4.1.1.4.1	Weiträumige Landbewässerungsfelder	623
6.4.4.1.1.4.2	Rieselelder	625
6.4.4.1.1.5	Bewässerungsbauten	626
6.4.4.1.1.5.1	Die mechanische Kläranlage	626
6.4.4.1.1.5.2	Das Verteilungsnetz	627
6.4.4.1.1.5.3	Pumpwerke	627
6.4.4.1.1.5.4	Das Entwässerungsnetz	628
6.4.4.1.1.5.5	Nebenbauten	629
6.4.4.2	Abwasserteiche	629
6.4.4.2.1	Absetzteiche	633
6.4.4.2.2	Unbelüftete Abwasserteiche	634
6.4.4.2.3	Belüftete Abwasserteiche	636
6.4.4.2.4	Schönungsteiche	637
6.4.4.2.5	Sicherheitsteiche	638
6.4.4.2.6	Abwasserfischteiche	638
6.4.4.3	Tropfkörperverfahren	638
6.4.4.3.1	Allgemeine Grundlagen	639
6.4.4.3.2	Tropfkörperbestandteile	646
6.4.4.3.3	Bemessung der Tropfkörper	650
6.4.4.3.4	Turmtropfkörper	658
6.4.4.4	Tauchtropfkörper	659
6.4.4.5	Belebungsanlagen	667
6.4.4.5.1	Allgemeine Grundkenntnisse	667
6.4.4.5.2	Der belebte Schlamm	668
6.4.4.5.3	Der Sauerstoff	672
6.4.4.5.3.1	Belüftung mit atmosphärischer Luft	675
6.4.4.5.3.2	Verfahrensarten	676
6.4.4.5.3.3	Belüftung mit reinem Sauerstoff (Sauerstoffbe-gasung)	680
6.4.4.5.4	Belüftungseinrichtungen	684
6.4.4.5.4.1	Druckbelüftung	684
6.4.4.5.4.2	Oberflächenbelüftung	688
6.4.4.5.4.3	Kombinierte und sonstige Belüfter	693
6.4.4.5.5	Bemessung von Belebungsanlagen	694
6.4.4.5.6	Zweistufige Kläranlagen	702
6.4.4.5.6.1	Zweistufige Tropfkörperanlagen	703
6.4.4.5.6.2	Zweistufige Belebungsanlagen	703
6.4.4.5.6.3	Adsorptions-Belebungsverfahren	705

6.4.4.5.6.4	Tropfkörper-Belebungsverfahren	706
6.4.4.5.6.5	Belebungs-Tropfkörperverfahren	708
6.4.4.5.6.6	Nachschaltung von Schönungsteichen	710
6.4.4.6	Anaerobe Abwasserbehandlung	713
6.4.4.7	Nachklärung	716
6.4.4.7.1	Nachklärbecken nach Tropfkörperanlagen	716
6.4.4.7.2	Nachklärbecken von Belebungsanlagen	720
6.4.4.7.2.1	Horizontal durchströmte Nachklärbecken	722
6.4.4.7.2.2	Vertikal durchströmte Nachklärbecken	730
6.4.4.7.3	Hinweise für die konstruktive Ausbildung der Nachklärbecken	735
6.5	VERFAHREN DER PHYSIKALISCHEN UND PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN ABWASSERBEHANDLUNG	737
6.5.1	Suspensaentnahme	739
6.5.1.1	Einbauten im Absetzraum	739
6.5.1.2	Mikrosiebung	741
6.5.1.3	Filtration	743
6.5.1.3.1	Sandfilter	745
6.5.1.3.2	Bodenfiltration	747
6.5.1.3.3	Ultrafiltration-Hyperfiltration	748
6.5.2	Elimination gelöster organischer Substanzen	750
6.5.2.1	Aktivkohleadsorption	751
6.5.2.2	Oxidation mit Ozon	756
6.5.2.3	Desorption flüchtiger Stoffe	756
6.5.2.4	Umgekehrte Osmose (Hyperfiltration)	756
6.5.3	Nährstoffelimination	758
6.5.3.1	Elimination des Stickstoffs	759
6.5.3.1.1	Stickstoffelimination durch mikrobiologische Prozesse	760
6.5.3.1.1.1	Stickstoffelimination in Belebungsanlagen	760
6.5.3.1.1.2	Stickstoffelimination in Festbettreaktoren	760
6.5.3.1.1.3	Stickstoffelimination in Oxidationsteichen	761
6.5.3.1.2	Stickstoffelimination durch physikalisch-chemische Verfahren	762
6.5.3.1.2.1	Ammoniak-Desorption (Stripping)	762
6.5.3.1.2.2	Selektiver Ionenaustausch	763
6.5.3.1.2.3	Knickpunkt chlorung	763
6.5.3.2	Elimination des Phosphors	764
6.5.3.2.1	Elimination des Phosphors durch biologische Behandlungsverfahren	765
6.5.3.2.1.1	Konventionelle Belebungsverfahren	765
6.5.3.2.1.2	Teichbehandlung	765
6.5.3.2.1.3	Algen-Phosphat-Elimination	766
6.5.3.2.2	Elimination des Phosphors durch physikalisch-chemische Verfahren	767
6.5.3.2.2.1	Eisen-Phosphat-Fällung	767
6.5.3.2.2.2	Aluminium-Phosphat-Fällung	768
6.5.3.2.2.3	Kalk-Phosphat-Fällung	768
6.5.3.2.2.4	Behandlungsverfahren	768
6.5.4	Elimination gelöster anorganischer Substanzen	769
6.5.4.1	Ionenaustauschverfahren	770
6.5.4.2	Elektrodialyse	770
6.5.4.3	Hyperfiltration	771

6.6	GEWERBLICHE UND INDUSTRIELLE ABWASSER-BEHANDLUNG	772
6.6.1	Anorganisch-industrielles Abwasser	773
6.6.1.1	Abwässer von Mörtel-, Kalksandstein-, Zement- und Porzellanfabriken	773
6.6.1.2	Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	776
6.6.1.2.1	Abwässer der Eisenhütten	776
6.6.1.2.2	Abwässer von Stahl- und Walzwerken	778
6.6.1.2.3	Abwässer von Maschinenfabriken und mechanischen Werkstätten	779
6.6.1.2.4	Abwässer von Metallbeizereien	779
6.6.1.2.5	Abwässer aus Elokalbetrieben	781
6.6.1.2.6	Sonstige Abwässer der metallverarbeitenden Industrie	782
6.6.1.2.6.1	Chromatentgiftung	784
6.6.1.2.6.2	Cyanidentgiftung	787
6.6.1.2.6.3	Neutralisation	794
6.6.1.3	Abwässer aus Bergwerken und Erzaufbereitungsanlagen	798
6.6.1.3.1	Grubenwässer	798
6.6.1.3.2	Waschkauenwässer	798
6.6.1.3.3	Abwässer der Kohlenwäsche	799
6.6.1.3.4	Abwässer von Steinkohlekokereien	799
6.6.1.3.5	Abwässer aus Steinkohle-Schwelereien	801
6.6.1.3.6	Abwässer der Holzkohleherstellung	802
6.6.1.4	Abwässer der chemischen Industrie	802
6.6.1.4.1	Abwässer von Mineralsäurefabriken	802
6.6.1.4.2	Abwässer der Kaliindustrie	803
6.6.1.4.3	Abwässer von Sodafabriken	804
6.6.1.4.4	Abwässer von Düngemittelfabriken	804
6.6.1.4.5	Abwässer der Goldschwefelfabriken	804
6.6.2	Organisches industrielles Abwasser	805
6.6.2.1	Abwässer der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie	806
6.6.2.1.1	Abwässer der pharmazeutischen Industrie	806
6.6.2.1.2	Abwässer der kosmetischen Industrie	807
6.6.2.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung von Farbstoff	807
6.6.2.2.1	Anorganische Farbstoffabwässer	807
6.6.2.2.2	Organische Farbstoffabwässer	808
6.6.2.3	Abwässer aus der Herstellung von Seifen und synthetischen Waschmitteln	810
6.6.2.3.1	Abwässer von Seifenfabriken	810
6.6.2.3.2	Abwässer von Fabriken zur Herstellung synthetischer Waschmittel	811
6.6.2.4	Abwässer der Kunststoffindustrien	812
6.6.2.4.1	Abwässer der Kunststoffindustrie auf Cellulosebasis	812
6.6.2.4.2	Abwässer der Kunststoffindustrie als Kondensationsprodukte	812
6.6.2.4.3	Abwässer der Kunststoffindustrie als Polymerisationsprodukte	813
6.6.2.5	Abwässer aus Gerbereien und Lederfabriken	814
6.6.2.5.1	Abwässer von Gerbereien	814

6.6.2.5.2	Abwässer von Lederfabriken	815
6.6.2.6	Abwässer der Textilindustrie	815
6.6.2.6.1	Abwässer von Spinnstofffabriken	816
6.6.2.6.1.1	Abwässer der Flachs- und Hanfrötfabriken	816
6.6.2.6.1.2	Abwässer der Seidenkochereien	817
6.6.2.6.1.3	Abwässer der Kunstseide- und Zellwollefabriken	817
6.6.2.6.2	Abwässer der Baumwollebleichereien	819
6.6.2.6.3	Abwässer der Wollwäschereien	819
6.6.2.6.4	Abwässer von Tuchfabriken	820
6.6.2.7	Abwässer der Zellstoff-, Papier- und Pappe-fabriken	821
6.6.2.7.1	Abwässer von Holzschleifereien	821
6.6.2.7.2	Abwässer von Zellstofffabriken	822
6.6.2.7.2.1	Abwässer der Sulfitzellstofffabriken	822
6.6.2.7.2.2	Abwässer der Sulfatzellstofffabriken	824
6.6.2.7.2.3	Abwässer der Strohzellstofffabriken	824
6.6.2.7.2.4	Abwässer von Papierfabriken	825
6.6.2.7.2.5	Abwässer von Strohpappfabriken	827
6.6.2.7.2.6	Abwässer aus der Herstellung von Holzfaser-platten mittels Naßverfahren	827
6.6.2.8	Abwässer der erdölverarbeitenden Industrie	828
6.6.2.8.1	Abwässer der Erdölförderung auf Bohrfeldern	828
6.6.2.8.2	Abwässer aus Mineralölraffinerien	829
6.6.2.8.3	Abwässer petrochemischer Anlagen	830
6.6.2.8.4	Abwässer von Tankstellen	831
6.6.2.9	Abwässer aus der Lebensmittelindustrie	831
6.6.2.9.1	Abwässer der Zuckerfabriken	831
6.6.2.9.2	Abwässer aus Milchverarbeitungsbetrieben	833
6.6.2.9.3	Abwässer der nichtalkoholischen Getränkebetriebe	834
6.6.2.9.4	Abwässer von Brauereien	834
6.6.2.9.5	Abwässer von Margarine-, Speisefett- und ölfabriken	835
6.6.2.9.6	Abwässer von Schlachthöfen und Fleischwarenfabriken	836
6.6.2.9.7	Abwässer bei der Herstellung von Fischkonserven	837
6.6.2.9.8	Abwässer aus der Obst- und Gemüsekonserven-fabrikation	838
6.6.2.9.9	Abwässer der Stärkeherstellung und Kartoffel-chipsverarbeitung	838
6.6.2.9.10	Abwässer von Betrieben der Weinbereitung und der Sektherstellung	839
6.6.2.10	Abwässer von Tierkörperbeseitigungsanlagen	840
6.6.2.11	Abwässer von Fischmehlfabriken	841
6.7	<b>DIE BEHANDLUNG VON RÜCKSTÄNDEN DER ABWASSERREINIGUNG</b>	842
6.7.1	Rechengut	843
6.7.2	Sandfanggut	845
6.7.3	öl- und Fettfanggut	846
6.7.4	Schlammbehandlung	847
6.7.4.1	Menge und Beschaffenheit der Schlämme •	848
6.7.4.1.1	Menge der Schlämme	849

6.7.4.1.2	Beschaffenheit der Schlämme	853
6.7.4.2	Stabilisierung von Frischschlamm	859
6.7.4.2.1	Die anaerobe Stabilisierung (Faulung)	863
6.7.4.2.1.1	Unbeheizte Faulräume	863
6.7.4.2.1.2	Beheizte Faulräume	865
6.7.4.2.2	Die aerobe Stabilisierung	877
6.7.4.3	Schlammtenwässerung	883
6.7.4.3.1	Eindickung	886
6.7.4.3.2	Natürliche Entwässerung	890
6.7.4.3.3	Schlammkonditionierung	893
6.7.4.3.4	Künstliche Entwässerung	897
6.7.4.3.4.1	Entwässerung in Zentrifugen	898
6.7.4.3.4.2	Entwässerung mit Bandfiltern	900
6.7.4.3.4.3	Entwässerung mit Filterpressen	902
6.7.4.3.4.4	Entwässerung durch Unterdruckfiltration (Vakuumfiltration)	904
6.7.4.4	Verwertung und Beseitigung des Schlammes	905
6.7.4.4.1	Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft	905
6.7.4.4.1.1	Pasteurisierung	906
6.7.4.4.1.2	Aerob-thermophile Schlammbehandlung	907
6.7.4.4.1.3	Schlammverfestigung mit Branntkalk	908
6.7.4.4.1.4	Mietenkompostierung	908
6.7.4.4.1.5	Kompostierung in Bioreaktoren	909
6.7.4.4.1.6	Schwermetallproblematik	909
6.7.4.4.2	Klärschlammablagerung auf Deponien	912
6.7.4.4.3	Kompostierung von Klärschlamm	914
6.7.4.4.4	Verklappung des Schlammes im offenen Meer	914
6.7.4.4.5	Schlammtröcknung und Schlammverbrennung	914

## 7

PROBENAHME UNTERSUCHUNG UND BEURTEILUNG VON ABWÄSSERN UND ABWASSERSCHLAMM

7.1	PROBENAHME VON ABWASSER UND SCHLAMM	916
7.1.1	Ortsbesichtigung	917
7.1.2	Arten der Probenahme für Abwässer	919
7.1.3	Stichproben	921
7.1.4	Zeitabhängige Probenahme	922
7.1.5	Mengenabhängige Probenahme	924
7.1.5.1	Mengenmessung	925
7.1.5.2	Mengenabhängige Probenahme von Hand	930
7.1.5.3	Mengenabhängige Probenahme mit Geräten	931
7.1.6	Praxis der Probenahme von Abwasser	934
7.1.6.1	Probenkonservierung	935
7.1.6.2	Abwassermengen zur Analyse	938
7.1.6.3	Flaschenmaterial	939
7.1.6.3.1	Glasflaschen	939
7.1.6.3.2	Kunststoff-Flaschen	940
7.1.6.3.3	Sonderabfüllungen	941
7.1.6.4	Schlammprobenahme	942

7.2	ÖRTLICHE UNTERSUCHUNGEN	943
7.2.1	Temperatur	944
7.2.2	Sinnesprüfung an Ort und Stelle	945
7.2.3	Dichte	948
7.2.4	Messung des pH-Wertes	950
7.2.5	Elektrische Leitfähigkeit	952
7.2.6	Redox-Spannung	954
7.2.7	Sauerstoff	955
7.2.8	Elektrometrische Bestimmung von gelöstem Sauerstoff	955
7.2.9	Absetzbare Stoffe	958
7.3	LABORATORIUMSANALYSEN	959
7.3.1	Allgemeines	959
7.3.2	Anorganische Substanzen	961
7.3.2.1	Ammonium	961
7.3.2.2	Nitrit	965
7.3.2.3	Nitrat	968
7.3.2.4	Phosphat	970
7.3.2.5	Sulfid-Schwefel	975
7.3.2.6	Sulfit	980
7.3.2.7	Sulfat	982
7.3.2.8	Cyanid	984
7.3.2.8.1	Gesamtcyanid	986
7.3.2.8.1.1	Spektralphotometrische Bestimmung mit Barbitursäure-Pyridin	991
7.3.2.8.1.2	Maßanalytische Bestimmung mit Silbernitrat	994
7.3.2.8.2	Leicht freisetzbare Cyanid	996
7.3.3	Organische Substanzen	998
7.3.3.1	Oxidierbarkeit	1001
7.3.3.2	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	1007
7.3.3.2.1	Methode mit Kaliumdichromat	1007
7.3.3.2.2	Kurzzeit-Methode	1013
7.3.3.2.3	Beseitigung von Hg und Ag aus Rückstandslösungen der CSB-Bestimmung	1017
7.3.3.2.4	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC) und gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	1018
7.3.3.3	Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB)	1022
7.3.3.3.1	Bestimmung des BSB- nach Verdünnung	1025
7.3.3.3.2	Bestimmung des BSB-, mit Verdünnung als Feldmethode	1030
7.3.3.3.3	Allgemeine Informationen und besondere Hinweise	1031
7.3.3.4	Phenole	1036
7.3.3.4.1	Wasserdampfflüchtige Phenole	1036
7.3.3.4.2	Gesamtphenole	1038
7.3.3.5	öle und Fette	1040
7.3.3.5.1	Gravimetrische Bestimmung nach Extraktion mit n-Hexan	1041
7.3.3.5.2	Infrarot-Analyse	1046
7.3.3.5.3	Gaschromatographische Analyse	1047
7.3.3.6	Detergentien (Tenside)	1048
7.3.3.6.1	Vorprobe auf Detergentien	1048
7.3.3.6.2	Bestimmung von anionaktiven Detergentien	1049

7.3.3.6.2.1	Photometrische Bestimmung der anionaktiven Detergentien mit Methylenblau	1050
7.3.3.6.2.2	Titration mit Cetyltrimethylammoniumbromid gegen Methylenblau (Titration nach EPTON)	1053
7.3.3.6.3	Bestimmung von nichtionogenen Detergentien (Vorprobe)	1055
7.3.3.6.3.1	Bestimmung von nichtionogenen Detergentien (Tensiden), quantitative Bestimmung	1056
7.3.3.6.4	Abtrennung der Detergentien nach der Ausschäummethode	1064
7.3.3.7	Extrahierbare organische Halogenverbindungen (EOX)	1065
7.3.3.8	Prüfung auf Fäulnisfähigkeit	1069
7.3.3.9	Giftigkeit von Abwässern	1071
7.4	<b>FISCHTEST</b>	1076
7.5	<b>BEURTEILUNG DER ANALYSEN</b>	1080
7.5.1	Konzentration bzw. Fracht	1081
7.5.2	Allgemeine Belastung des Abwassers	1082
7.5.3	Schadstoff-Belastung des Abwassers	1082
7.6	<b>ABWASSERSCHLÄMME</b>	1083
7.6.1	Hinweise zur Schlammprobenahme und zum Aufschluß für die Schwermetallbestimmung	1084
7.6.2	Schlammvolumen und Schlammindex	1092
	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	1094
	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b>	1105