

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	I
1	Einführung	1
1.1	Notwendigkeit zur Abwasserreinigung	1
1.2	Entwicklung der Abwasserreinigung	1
1.2.1	Einleitung	1
1.2.2	Indusregion	1
1.2.3	Israeliten	1
1.2.4	Griechenland und Rom	2
1.2.5	Mittelalter	2
1.2.6	Europa im 18. und 19. Jahrhundert	2
1.2.7	Von der Industrialisierung bis heute	4
1.3	Inhalt und Ziel des Skriptes	6
1.4	Rechtliche Grundlagen	7
1.4.1	Europäisches Recht	7
1.4.2	Das deutsche Wasserrecht	8
1.5	Abwasserabgabepflicht	9
2	Gewässerbelastung	11
2.1	Einleitung	11
2.2	Gewässer	11
2.2.1	Definition	11
2.2.2	Grundwasser	11
2.2.3	Quellen und Fließgewässer	12
2.2.4	Stehende Gewässer	12
2.2.5	Übergangs- und Küstengewässer	13
2.3	Ökosystem Oberflächengewässer	13
2.3.1	Gewässerbiozönos	13
2.3.1.1	Einteilung	13
2.3.1.2	Trophische Stufen und Nahrungskreislauf	14
2.3.1.3	Biozönos	15
2.3.1.4	Biozönos	16
2.3.2	Abiotische Einflüsse	17
2.3.2.1	Unterteilung	17
2.3.2.2	Chemisch-physikalische und chemische Einflussgrößen	17
2.3.2.3	Hydromorphologische Einflussgrößen	18
2.3.3	Gewässertypen	19
2.4	Entstehung und Biologie des Grundwassers	20
2.4.1	Neubildung	20
2.4.2	Grundwasserbiozönose	20
2.5	Emissionsseitige Betrachtung stofflicher Gewässerbelastungen	21
2.5.1	Belastungsquellen der Oberflächengewässer	21
2.5.2	Belastungsquellen des Grundwassers	24
2.5.3	Quantifizierung der Einträge in Oberflächengewässer	24
2.6	Immissionsseitige Betrachtung stofflicher Gewässerbelastungen	26
2.6.1	Reaktionen der Biozönose in Oberflächengewässern	27
2.6.2	Belastungen bei Regenwetter	29
2.6.3	Stoffumwandlung in Oberflächengewässern	31
2.6.4	Berechnungsansätze zur Stoffretention	33
2.6.5	Reinigungsprozesse im Grundwasser	35
2.6.6	Humantoxikologische Auswirkungen	36
2.7	Beispiel zur Stoffbilanzierung	37
2.8	Gewässerschutz	38
2.8.1	Ziele und Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie	38
2.8.1.1	Grundsätze	38
2.8.1.2	Ausnahmetatbestände	38
2.8.1.3	Zeitplan der Umsetzung	38
2.8.1.4	Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne	39

2.8.2	Flussgebiete und Wasserkörper	39
2.8.3	Zustandsbewertung	39
2.8.3.1	Oberflächenwasserkörper	39
2.8.3.2	Grundwasserkörper	41
2.8.4	Biologische Bewertungssysteme für Oberflächengewässer	42
2.8.5	Allgemeine chemisch-physikalische Bedingungen	44
2.8.6	Stoffliche Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer	44
2.8.7	Erstmalige Bestandsaufnahme deutscher Gewässer	47
2.8.8	Technische Maßnahmen zu Abwasserbelastungen	49
3	Beschaffenheit des kommunalen Abwassers, Ermittlung von Bemessungsgrundlagen	51
3.1	Einleitung	51
3.2	Definitionen Abwasser	51
3.3	Abwasseranfall	52
3.4	Verschmutzungsparameter	53
3.4.1	Hygienische Parameter	53
3.4.2	Physikalische und chemische Abwasserzusammensetzung	53
3.4.3	Summenbestimmungsmethoden (BSB, CSB, TOC, AOX)	55
3.4.4	Stickstoffverbindungen	58
3.4.5	Phosphorverbindungen	59
3.4.6	Organische und anorganische Schadstoffe	59
3.4.7	Übersicht über die Zusammensetzung des häuslichen Abwassers	60
3.5	Ermittlung der IST-Belastung nach ATV-DVWK A 198	61
3.5.1	Vorbemerkung	61
3.5.2	Vorbereitende Arbeiten	61
3.5.2.1	Ausgangssituation	61
3.5.2.2	Datenerfassung	61
3.5.2.3	Zur Bemessung erforderliche Abfluss-, Konzentrations- und Frachtdaten	62
4	Mechanische Reinigung	65
4.1	Aufgabe der mechanischen Abwasserreinigung	65
4.2	Rechen und Siebe	65
4.2.1	Funktionsweisen, Bemessung und Bauarten von Rechen	65
4.2.1.1	Funktionsweisen von Rechen	65
4.2.1.2	Bemessung von Rechen	66
4.2.1.3	Bauarten von Rechen	68
4.2.2	Bauarten und Funktionsweisen von Sieben	69
4.2.3	Rechen- und Siebgut	70
4.2.3.1	Beschaffenheit von Rechen- und Siebgut kommunaler Kläranlagen	70
4.2.3.2	Rechen- und Siebgutanfall	70
4.2.4	Behandlung und Entsorgung	71
4.3	Sedimentation	73
4.3.1	Grundlagen der Sedimentation	73
4.3.2	Sedimentationsverhalten von Feststoffsuspensionen	75
4.3.3	Sedimentationsverhalten von flockenden Suspensionen	75
4.3.4	Grundlagen für die Bemessung von Absetzbecken	75
4.3.4.1	Ideales Absetzbecken	75
4.3.4.2	Hydraulische Kennzahlen	78
4.3.4.3	Dichteströme	80
4.4	Sandfänge	80
4.4.1	Aufgabe von Sandfängen	80
4.4.2	Bauarten, Funktionsweisen und Bemessung von Sandfängen	80
4.4.2.1	Korngrößenverteilung und Abscheidegrad	81
4.4.2.2	Langsandfang	81
4.4.2.3	Belüfteter Sandfang	83
4.4.2.4	Sandfangräumung	85
4.4.3	Sandfanggut	85
4.4.3.1	Beschaffenheit von Sandfanggut	85
4.4.3.2	Anfall von Sandfanggut	86
4.4.3.3	Behandlung des Sandfanggutes	86
4.5	Vorklärbecken	88
4.5.1	Zweck der Vorklärung	88
4.5.2	Auslegung und Bemessung	90

5	Biologische Abwasserbehandlung	93
5.1	Einleitung	93
5.2	Grundlagen der biologischen Abwasserbehandlung	93
5.2.1	Selektion	93
5.2.2	Ernährungstypen	93
5.2.3	Stöchiometrie, Kinetik, Matrixschreibweise	94
5.2.4	Übersicht über die generellen Umwandlungsprozesse	96
5.2.4.1	Biologisches Wachstum	97
5.2.4.2	Hydrolyse	103
5.2.4.3	Absterben, Zerfall	103
5.2.4.4	Oberflächen limitierte Reaktionen	104
5.2.5	Aerober heterotropher Abbau	105
5.2.5.1	Chemische Reaktionen	105
5.2.5.2	Reaktionskonstanten	105
5.2.6	Ammonifikation	105
5.2.7	Nitrifikation	105
5.2.7.1	Reaktionen Nitrifikation	105
5.2.7.2	Kinetik der Nitrifikation, Reaktionskonstanten	106
5.2.7.3	Einflussfaktoren auf die Nitrifikation	106
5.2.8	Denitrifikation	108
5.2.8.1	Randbedingungen	108
5.2.8.2	Reaktionen Denitrifikation	108
5.2.8.3	Kinetik der Denitrifikation, Reaktionskonstanten	108
5.2.8.4	Einflussfaktoren auf die Denitrifikation	109
5.2.9	Auswirkung der Umwandlung von Stickstoff auf die Alkalität und den pH-Wert	110
5.2.10	Zusammenfassende Darstellung der Komponenten des Stickstoffs im Abwasser und bei der Abwasserreinigung und deren Veränderung	111
5.2.11	Activated Sludge Models der IWA	112
5.3	Reaktortypen	117
5.3.1	Chargen-Reaktor (Batch-Reactor)	117
5.3.2	Rührkessel (Chemostat, CSTR)	118
5.3.3	Röhrenreaktor (plug flow)	118
5.3.4	Sequencing Batch Reactor (SBR)	119
5.3.5	Reale Reaktoren	119
5.4	Belebungsanlagen	120
5.4.1	Der stationäre Zustand	120
5.4.2	Bilanzierung einer Belebungsanlage ohne Phasenseparation (Chemostat)	120
5.4.3	Belebungsanlage mit Schlammrückführung	121
5.4.4	Belebungsanlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation	123
5.4.4.1	Bilanzierung einer Belebungsanlage zur Nitrifikation	123
5.4.4.2	Bilanzierung einer Belebungsanlage zur Denitrifikation	124
5.4.4.3	Verfahrensmöglichkeiten für Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation	125
5.4.5	Phosphorelimination in Belebungsanlagen	130
5.4.5.1	Erhöhte biologische Phosphorelimination	130
5.4.5.2	Chemisch-physikalische Phosphorelimination	134
5.4.6	Grundlagen der Bemessung von Belebungsanlagen	139
5.4.6.1	Allgemeines	139
5.4.6.2	Begriffe, Definitionen, Kenngrößen	139
5.4.6.3	Bemessung nach der Schlammbelastung	142
5.4.6.4	Bemessungsablauf nach DWA-A 131	143
5.4.6.5	Bilanzierung und Fraktionierung für die Bemessung	144
5.4.7	Bemessung von Belebungsanlagen nach dem Schlammalter	146
5.4.7.1	Bestimmung des Schlammalters	146
5.4.7.2	Ermittlung des Volumenanteils für Denitrifikation (V_D/V_{BB})	149
5.4.7.3	Berechnung der Schlammproduktion	150
5.4.8	Sauerstoffeintrag	150
5.4.8.1	Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffzufuhr	150
5.4.8.2	Belüftungssysteme und ihre Bemessung	152
5.4.9	Bilanzierungsbeispiele	155
5.4.10	Messen, Steuern und Regeln	157
5.4.10.1	Einleitung	157
5.4.10.2	Eine Kläranlage ist ein komplexes System	157
5.4.10.3	Einige Begriffe	158
5.4.10.4	Einige Beispiele	159

5.4.10.5	Ausblick	161
5.4.10.6	Fazit	162
5.5	Aerobe Biofilmverfahren	162
5.5.1	Einführung	162
5.5.2	Grundlagen Biofilme	163
5.5.2.1	Aufbau von Biofilmen	163
5.5.2.2	Was macht Biofilme für die Abwasserreinigung so interessant?	163
5.5.3	Festbettreaktoren	163
5.5.3.1	Tropfkörper	163
5.5.3.2	Biofilter	165
5.5.3.3	Bepflanzte Bodenfilter	165
5.5.3.4	Getauchtes Festbett	168
5.5.4	Rotationstauchkörper	169
5.5.5	Biofilmverfahren auf frei beweglichen Aufwuchskörpern	170
5.5.5.1	Schwebebett- und Wirbelbettverfahren	170
5.5.5.2	Wirbel-Schwebebett-Verfahren	170
5.5.6	Aerobe Granula	171
5.5.6.1	Entstehung und Grundlagen	171
5.5.6.2	Reaktorbetrieb und Fahrweise – Bemessungsansätze	176
5.5.6.3	Reinigungsleistung und Umsatzraten	180
5.5.6.4	Platzbedarf	181
5.5.6.5	Einsatzmöglichkeiten in der Praxis	182
5.5.6.6	Aktuelle Entwicklungen	184
5.5.7	Integrated Fixed-film Activated Sludge (IFAS)	184
5.6	Naturnahe Verfahren und Anlagen der Abwasserbehandlung	185
5.6.1	Vorbemerkungen	185
5.6.2	Naturnahe Verfahren mit im Boden fixierten (sessilen) Mikroorganismen	185
5.6.3	Naturnahe Verfahren mit suspendierten Mikroorganismen (Abwasserteiche)	186
5.6.3.1	Unbelüftete Abwasserteiche	186
5.6.3.2	Belüftete Abwasserteiche	187
6	Nachklärbecken	189
6.1	Nachklärbecken von Belebungsanlagen	189
6.1.1	Sedimentation von belebtem Schlamm	189
6.1.2	Zusammenhang Belebung – Nachklärung	190
6.1.2.1	Hydraulische Abhängigkeit	191
6.1.2.2	Feststoffbilanz, Feststofffluss	191
6.1.3	Beckenarten und -konstruktion	192
6.1.3.1	Horizontal durchströmte Nachklärbecken	193
6.1.3.2	Vertikal durchströmte Nachklärbecken	193
6.1.4	Bemessung von Nachklärbecken	194
6.1.4.1	Bemessungsgrößen	194
6.1.4.2	Beckenoberfläche	195
6.1.4.3	Trockensubstanzgehalt im Rücklaufschlamm	195
6.1.4.4	Rücklaufverhältnis	196
6.1.4.5	Beckentiefe	197
6.1.4.6	Berechnungsgang	200
6.1.5	Allgemeines zur Ausrüstung und Gestaltung von Nachklärbecken	200
6.1.6	Ausbildung horizontal durchströmter Nachklärbecken	201
6.1.6.1	Zulauf und Einlauf	201
6.1.6.2	Ablaufgestaltung	204
6.1.6.3	Schwimmschlammräumung	205
6.1.6.4	Bodenschlammräumung	205
6.1.7	Ausbildung vertikal durchströmter Nachklärbecken	207
6.1.7.1	Zulaufgestaltung	208
6.1.7.2	Ablaufgestaltung	208
6.1.8	Betriebliche Erfahrungen	208
6.2	Nachklärbecken von Tropfkörpern	208
6.2.1	Wirkungsweise und Anforderungen	208
6.2.2	Bemessung	208

7	Weitergehende Abwasserreinigung	211
7.1	Zielsetzung und Abgrenzung	211
7.1.1	Begriffsbestimmung	211
7.1.2	Ziele	211
7.2	Weitergehende Anforderungen	212
7.2.1	Stickstoff	212
7.2.2	Phosphor	213
7.2.3	Hygiene	213
7.2.4	Mikroschadstoffe	215
7.3	Abwasserfiltration	216
7.3.1	Raumfiltration	218
7.3.1.1	Bemessung und Spülung von Raumfiltern	219
7.3.1.2	Auswirkungen auf den Kläranlagenbetrieb	221
7.3.2	Klassische Flockungsfiltration	222
7.3.3	Optimierte Flockungsfiltration	223
7.3.4	Nach-/Restnitrifikation in Raumfiltern	223
7.3.5	Denitrifikationsfilter	224
7.3.6	Membranverfahren	225
7.4	4te Reinigungsstufe zur Entfernung von Mikroschadstoffen	226
7.4.1	Verfahren	226
7.4.2	Zielsetzung und Bemessungsgrundlagen	227
7.5	Adsorption an Aktivkohle als 4te Reinigungsstufe	228
7.5.1	Grundlagen der Adsorption	228
7.5.2	Herstellung und Eigenschaften der Aktivkohle	230
7.5.3	Einsatz von Pulveraktivkohle (PAC)	231
7.5.3.1	PAC-Verfahren	231
7.5.3.2	Separate PAC-Adsorptionsstufe	234
7.5.3.3	PAC-Lagerung und -Dosierung	235
7.5.4	Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAC)	236
7.6	Oxidationsverfahren	238
7.6.1	Grundlagen	238
7.6.2	Ozonung	238
7.6.3	Transformationsprodukte	239
7.7	UV-Bestrahlung zur Abwasserdesinfektion	240
7.7.1	Grundlagen und Konzeption	240
7.7.2	Bemessung, Konstruktion und Betrieb	241
8	Klärschlamm	245
8.1	Einführung	245
8.2	Charakterisierung von Klärschlamm	246
8.2.1	Schlammarten	246
8.2.2	Schlammbeschaffenheit	247
8.2.2.1	Physikalische Parameter	248
8.2.2.2	Chemische Parameter	249
8.2.2.3	Mikrobiologische Beschaffenheit	250
8.2.3	Schlammengen	251
8.3	Regelkonforme Entsorgung von Klärschlamm	253
8.3.1	Entsorgungsoptionen aufgrund übergeordneter abfallrechtlicher Vorgaben	255
8.3.2	Darstellung maßgeblicher Entsorgungsoptionen	255
8.3.2.1	Landwirtschaftliche Verwertung	255
8.3.2.2	Verwertung im Landschaftsbau	257
8.3.2.3	Thermische Entsorgung (Verwertung und Beseitigung)	259
8.3.2.4	Deponierung	261
8.4	Grundoperationen der Klärschlammbehandlung	263
8.4.1	Wasserabtrennung	263
8.4.1.1	Eindickung	267
8.4.1.2	Entwässerung	273
8.4.1.3	Trocknung	277
8.4.2	Stabilisierung	282
8.4.2.1	Biologische aerobe Stabilisierung	284
8.4.2.2	Biologische anaerobe Stabilisierung (Faulung)	289
8.4.2.3	Duale Biologische Stabilisierung	295
8.4.2.4	Faulgasgewinnung und -verwertung	296

8.4.3	Entseuchung	305
8.4.4	Inertisierung	307
8.4.4.1	Verbrennung	307
8.4.4.2	Vergasung	311
8.4.4.3	Entgasung/Pyrolyse	312
8.4.4.4	Nassoxidative Verfahren	314
Literaturverzeichnis		317
Glossar		335
Stichwortverzeichnis		355