

# Abwasserbehandlung

Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Weitergehende Abwasserreinigung



## Vorwort

Impressum:

Abwasserbehandlung

Herausgeber  
Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen,  
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme,  
Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystraße 7  
99421 Weimar

in fachlicher Kooperation mit der  
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef

4. überarbeitete Auflage  
Juni 2017

Gedruckt in der Bundesrepublik Deutschland

Bezugsmöglichkeiten:

**BAUHAUS**  
UNIVERSITÄTSVERLAG

© Bauhaus-Universitätsverlag im Jonas Verlag für Kunst und Literatur GmbH  
Eselsweg 17, 99441 Kromsdorf/ Weimar  
T: +49 (0) 3643-83030, F: +49 (0) 3643-830313  
E-Mail: info@asw-verlage.de  
www.asw-verlage.de

DWA  
Tel: 02242/872333  
Fax: 02242/872100  
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de  
Internet: www.dwa.de

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Satz und Layout: Satzservice S. Matthies · www.doctype-satz.de

ISBN: 978-3-95773-216-3

Bitte zitieren Sie diese Publikation wie folgt:  
b.is (2017): Abwasserbehandlung: Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Weitergehende Abwasserreinigung, Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is), Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt, 4. Überarbeitete Auflage, Weimar: Universitätsverlag, 2017.

Die Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“ bietet seit 1996 ein Fernstudium mit den Schwerpunkten Wasserbau und Hydraulik sowie Siedlungswasserwirtschaft an.

Das Weiterbildende Studium „Wasser und Umwelt“ entstand aus einer engen Zusammenarbeit mit der Universität Hannover und den Verbänden DWA und DVGW. Ausgehend von den zu Beginn nur im Zertifikatstudium angebotenen Fernstudiengängen wurden diese zu anerkannten (zertifizierten) Masterstudiengängen weiterentwickelt, die die Erlangung eines qualifizierten universitären Hochschulabschlusses ermöglichen. Die Studieninhalte werden in einer baukastenartigen, modularen Struktur in insgesamt mehr als 17 wählbaren Kursen angeboten.

Einer dieser Kurse umfasst die nachfolgend behandelte „Abwasserbehandlung“. Das vorliegende Buch enthält in der 4. Auflage den überarbeiteten und aktualisierten Stoff dieses Kurses in Schriftform. Eine inhaltliche Neustrukturierung des Kurses Abwasserbehandlung und die Aktualisierung der Inhalte aufgrund technischer sowie gesellschaftlicher Anforderungen zeichnet diesen neuen Band der der aktuellen Reihe der Fernstudienkurse aus. Besonderheiten dieser Auflage sind die Überarbeitung der Kapitel zur Bemessung von Belebtschlammanlagen unter Berücksichtigung der Bemessung auf CSB-Basis nach dem neuen DWA Arbeitsblatt A 131 sowie das neu hinzugekommene umfassende Kapitel zur Abwasserreinigung mit aeroben Granula.

Dieses Buch wie auch das Studium richtet sich an Hochschulabsolventen/innen, die im Bereich Wasser und Umwelt als Fachkräfte bei Behörden, Unternehmen, Verbänden, Ingenieurbüros, Instituten und anderen Einrichtungen tätig sind oder zukünftig tätig werden. Die Kursteilnehmer des Fernstudiums erhalten über die Schriftform hinaus, die in etwa dem Inhalt dieses Buches entspricht, eine fortlaufende Betreuung in Form von Aufgaben, die zu einer abschließenden Prüfung führt. Außerdem sind die Herausforderungen beim Schutz der Umwelt und bei der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser so groß, dass die Lehrinhalte ständig angepasst werden müssen. Hier sehen wir die Chance, diese neuen Inhalte auch als Diskussionspunkte in die Öffentlichkeit zu stellen und einem erweiterten Kreis zugänglich zu machen. Wo es um wichtige Umweltfragen geht wie bei der Abwasserbehandlung, sollten stets die neuesten Erkenntnisse hinzugezogen und für die praktische Umsetzung verwendet werden können, so wie wir uns auch bemühen, die aktuellen Ergebnisse aus der Praxis mit einzubeziehen.

Das vorliegende Buch basiert auf einer vollständig überarbeiteten und aktualisierten Lehrbriefsammlung des Kurses „Abwasserbehandlung – WW52“ des Weiterbildenden Studiums Wasser und Umwelt, die unter Leitung von Prof. Lütznert von den Autoren Dr. rer. nat. D. Kollatsch, Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. W. Günthert, Univ.-Prof. Dr.-Ing. N. Dichtl, Prof. Dipl.-Ing. Dr. tech. H. Renner, Prof. Dr.-Ing. B. Nolting, Prof. Dr.-Ing. G. Riegler und Dr. rer. nat. K. Kermer erstellt wurde.

Ich danke allen, die an der Bearbeitung der vorliegenden Ausgabe mitgewirkt haben, herzlich. Dieser Dank gilt vor allem den Co-Autoren Dipl.-Ing. J.-M. Kaub (Kapitel 4), Dr.-Ing. S. Meusel (Kapitel 2), Dipl.-Ing. M. Hartmann (Kapitel 8), unserem Teamchef Dr.-Ing. C. Springer für die Verwaltung und Organisation der Kurse, aber auch den Mitarbeitern der Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar, die die Herausgabe des Kurses in Buchform erst ermöglicht haben – insbesondere S. Hörnlein M.Sc. und S. Conrad M.Sc.

Einen speziellen Dank richte ich im Zusammenhang mit dieser vierten Auflage an Frau Dipl.-Ing. S. Sauer (INAWA GbR Weimar) für die Aktualisierung des Kapitels zur weitergehenden Abwasserreinigung und an Herrn Dr.-Ing. T. Rocktäschel für seine Mitwirkung als Autor zum Themenbereich aerobe Granula.

Besonderer Dank gebührt Herrn R. Rehbein (ehemals Auktor Ingenieur GmbH, Würzburg) für seine konstruktive Kritik und zahlreiche Ergänzungen in fast allen Kapiteln.

Ein Dankeschön gilt auch Herrn Dipl.-Ing. S. Matthies – verantwortlich für den Satz und die Gestaltung, sowie unseren Kursteilnehmern für ihr Interesse und ihre vielfältigen Rückmeldungen.

Möge die Fortsetzung dieser Reihe im Wissensgebiet „Wasser und Umwelt“ in der Fachwelt eine freundliche Aufnahme finden und der Aufgabe dienen, unsere Umwelt und die Ressource Wasser einer fachgerechten und nachhaltigen Nutzung zuzuführen.

Weimar, im Juni 2017

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

Leiter der Professur Siedlungswasserwirtschaft

Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorwort</b> .....	I
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	1
<b>1.1</b>	<b>Notwendigkeit zur Abwasserreinigung</b> .....	1
<b>1.2</b>	<b>Entwicklung der Abwasserreinigung</b> .....	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
<b>1.3</b>	<b>Inhalt und Ziel des Skriptes</b> .....	6
<b>1.4</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b> .....	7
1.4.1	Europäisches Recht .....	7
1.4.2	Das deutsche Wasserrecht .....	8
<b>1.5</b>	<b>Abwasserabgabepflicht</b> .....	9
<b>2</b>	<b>Gewässerbelastung</b> .....	11
<b>2.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	11
<b>2.2</b>	<b>Gewässer</b> .....	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
<b>2.3</b>	<b>Ökosystem Oberflächengewässer</b> .....	13
2.3.1	Gewässerbiozöosen .....	13
2.3.1.1	Einteilung .....	13
2.3.1.2	Trophische Stufen und Nahrungskreislauf .....	14
2.3.1.3	Biozöosen der Fließgewässer .....	15
2.3.1.4	Biozöosen der Seen .....	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
<b>2.4</b>	<b>Entstehung und Biologie des Grundwassers</b> .....	20
2.4.1	Neubildung .....	20
2.4.2	Grundwasserbiozönose .....	20
<b>2.5</b>	<b>Emissionsseitige Betrachtung stofflicher Gewässerbelastungen</b> .....	21
2.5.1	Belastungsquellen der Oberflächengewässer .....	21
2.5.2	Belastungsquellen des Grundwassers .....	24
2.5.3	Quantifizierung der Einträge in Oberflächengewässer .....	24
<b>2.6</b>	<b>Immissionsseitige Betrachtung stofflicher Gewässerbelastungen</b> .....	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
<b>2.7</b>	<b>Beispiel zur Stoffbilanzierung</b> .....	37
<b>2.8</b>	<b>Gewässerschutz</b> .....	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
<b>3</b>	<b>Beschaffenheit des kommunalen Abwassers, Ermittlung von Bemessungsgrundlagen</b>	<b>51</b>
<b>3.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>51</b>
<b>3.2</b>	<b>Definitionen Abwasser</b>	<b>51</b>
<b>3.3</b>	<b>Abwasseranfall</b>	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>Verschmutzungsparameter</b>	<b>53</b>
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
<b>3.5</b>	<b>Ermittlung der IST-Belastung nach ATV-DVWK A 198</b>	<b>61</b>
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
<b>4</b>	<b>Mechanische Reinigung</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Aufgabe der mechanischen Abwasserreinigung</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Rechen und Siebe</b>	<b>65</b>
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
<b>4.3</b>	<b>Sedimentation</b>	<b>73</b>
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
<b>4.4</b>	<b>Sandfänge</b>	<b>80</b>
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
<b>4.5</b>	<b>Vorklärbecken</b>	<b>88</b>
4.5.1	Zweck der Vorklärung	88
4.5.2	Auslegung und Bemessung	90

<b>5</b>	<b>Biologische Abwasserbehandlung</b>	<b>93</b>
<b>5.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>93</b>
<b>5.2</b>	<b>Grundlagen der biologischen Abwasserbehandlung</b>	<b>93</b>
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
<b>5.3</b>	<b>Reaktortypen</b>	<b>117</b>
5.3.1	Chargen-Reaktor (Batch-Reaktor)	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
<b>5.4</b>	<b>Belebungsanlagen</b>	<b>120</b>
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
<b>5.5</b>	<b>Aerobe Biofilmverfahren</b>	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
<b>5.6</b>	<b>Naturnahe Verfahren und Anlagen der Abwasserbehandlung</b>	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
<b>6</b>	<b>Nachklärbecken</b>	189
<b>6.1</b>	<b>Nachklärbecken von Belebungsanlagen</b>	189
6.1.1	Sedimentation von belebtem Schlamm	189
6.1.2	Zusammenhang Belegung – 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
<b>6.2</b>	<b>Nachklärbecken von Tropfkörpern</b>	208
6.2.1	Wirkungsweise und Anforderungen	208
6.2.2	Bemessung	208

<b>7</b>	<b>Weitergehende Abwasserreinigung</b>	211
<b>7.1</b>	<b>Zielsetzung und Abgrenzung</b>	211
7.1.1	Begriffsbestimmung	211
7.1.2	Ziele	211
<b>7.2</b>	<b>Weitergehende Anforderungen</b>	212
7.2.1	Stickstoff	212
7.2.2	Phosphor	213
7.2.3	Hygiene	213
7.2.4	Mikroschadstoffe	215
<b>7.3</b>	<b>Abwasserfiltration</b>	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
<b>7.4</b>	<b>4te Reinigungsstufe zur Entfernung von Mikroschadstoffen</b>	226
7.4.1	Verfahren	226
7.4.2	Zielsetzung und Bemessungsgrundlagen	227
<b>7.5</b>	<b>Adsorption an Aktivkohle als 4te Reinigungsstufe</b>	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
<b>7.6</b>	<b>Oxidationsverfahren</b>	238
7.6.1	Grundlagen	238
7.6.2	Ozonung	238
7.6.3	Transformationsprodukte	239
<b>7.7</b>	<b>UV-Bestrahlung zur Abwasserdesinfektion</b>	240
7.7.1	Grundlagen und Konzeption	240
7.7.2	Bemessung, Krononstruktion und Betrieb	241
<b>8</b>	<b>Klärschlamm</b>	245
<b>8.1</b>	<b>Einführung</b>	245
<b>8.2</b>	<b>Charakterisierung von Klärschlamm</b>	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
<b>8.3</b>	<b>Regelkonforme Entsorgung von Klärschlamm</b>	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
<b>8.4</b>	<b>Grundoperationen der Klärschlammbehandlung</b>	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
<b>Literaturverzeichnis</b> .....		317
<b>Glossar</b> .....		335
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....		355

# 1 Einführung

## 1.1 Notwendigkeit zur Abwasserreinigung

Heute bildet in Europa die EU-Wasserrahmenrichtlinie die Zielvorgaben für den Gewässerschutz (siehe *Kap. 2 Gewässerbelastung*). Der hier geforderte gute Zustand aller Gewässer (das sind u. a. Bäche, Flüsse und Seen) setzt voraus, dass gewisse Höchstkonzentrationen an für die Gewässer schädliche Stoffe im Wasser des Gewässers unterschritten werden. Daneben muss es möglich sein bzw. bleiben, die Gewässer z. B. für Trink- und Brauchwasserentnahmen und für die Erholung zu nutzen.

Bis zu welchem Reinigungsgrad die Abwasserreinigung notwendig ist, hängt grundsätzlich von dem jeweiligen Vorfluter ab (Immissionsbetrachtungen). War es in den Anfängen der Abwasserreinigung Ziel, die absetzbaren Stoffe und später dann die gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen zu entfernen, so müssen heute auch die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor und künftig verstärkt Spuren-Schadstoffe und Krankheitserreger eliminiert werden. In der Europäischen Union und damit auch in Deutschland werden Mindestanforderungen (Emissionswerte) an die Reinigung von Abwasser erhoben, die in Gesetzen und Verordnungen festgeschrieben sind. Besondere Probleme können sich durch Abwässer aus der Industrie und Landwirtschaft ergeben. Im vorliegenden Studienmaterial geht es jedoch vorwiegend um die Reinigungsverfahren für kommunale Abwässer. Bei der größeren Anzahl der Fälle gründet z. B. auch die Industrieabwasserreinigung auf den Erkenntnissen, die bei der Reinigung überwiegend häuslicher Abwässer gewonnen wurden.

Abwasser zu reinigen kostet Geld. Die Kosten steigen mit zunehmenden Reinigungsanforderungen. Es sind meist erhebliche langfristige Investitionen erforderlich. Daraus ergibt sich die Forderung, ständig an der Verbesserung in Richtung ökonomisch günstiger Verfahren zu arbeiten und die vorhandenen Anlagen effizient zu betreiben. Es ist ihre Aufgabe, sich nicht nur den Stoff des Lehrmaterials einmal anzueignen, sondern darüber hinaus kontinuierlich neue Erkenntnisse aus Literatur und Praxis aufzunehmen und zu verarbeiten.

## 1.2 Entwicklung der Abwasserreinigung

### 1.2.1 Einleitung

Es lohnt sich immer wieder, die Entwicklung in ihrer Geschichte zu betrachten: Es ergeben sich interessante Einblicke in frühe Erfahrungen und der Weg zu der heute erreichten Position wird deutlich. Auf dieser Basis können Möglichkeiten, aber auch Grenzen der weiteren Entwicklung abgeschätzt werden. Gehen sie also ein Stück des Weges mit durch viele Jahrtausende Sanitär-geschichte: Von der Entdeckung der Hygiene in den

alten Kulturen über den Verfall des Wissens, die Neu-entdeckung durch die moderne Wissenschaft bis zur Diskussion neuer, an die Lebensbedingungen einer sich schnell entwickelnden Welt angepasster Sanitärkon-zepte mit neuen Anforderungen an Hygiene und Stoff-ströme.



Abb. 1.1: Die Reise durch die Sanitär-geschichte in Zeit-sprüngen

### 1.2.2 Indusregion

Die frühen Städte am Indus 4000 v. Chr. verdanken ih-ren Reichtum zu einem großen Teil den guten landwirt-schaftlichen Erträgen durch die künstliche Bewässe-rung ihrer Felder. Die gute Ernährung machte Arbeitsteilung und das Zusammenleben in größeren Gemeinschaften möglich.

In Mohenjo Daro wurden Abwasserkanäle, entleerbare Absetzbecken und Sickergruben gefunden. Es handelte sich nicht um ein Mischsystem, weder Straßen noch Plätze waren gepflastert. Die Wasserversorgung er-folgte zunächst noch aus Brunnen innerhalb der Städte, später wird dann Wasser von außerhalb in die Städte ge-leitet. Über eine Nutzung der Abwässer zur Düngung ist nichts bekannt.

### 1.2.3 Israeliten

Bei den Juden wurde seit jeher das Hauptgewicht in der öffentlichen Gesundheitspflege auf Reinlichkeit nicht nur des Einzelnen, sondern auch aller Dinge, mit denen sie in Berührung kamen – Kleidung, Wohnung, Boden, ... – gelegt. Hier war also die „moderne Hygiene“ schon vorhanden.

Solange die Israeliten in Lagern lebten, war eine Verun-reinigung des Bodens innerhalb des Lagers auf das Strengste verboten. Daher die Anweisung im 5. Buch Moses:

„und du sollst einen Ort außerhalb des Lagers haben, wohin du gehst zur Notdurft der Natur, und du sollst ein Schüflein am Gürtel tragen, und wenn du geses-sen hast, sollst du ringsherum graben und mit Erde be-decken, was von dir gegangen.“