

Industrieabwasserbehandlung

**Rechtliche Grundlagen, Verfahrenstechnik,
Abwasserbehandlung ausgewählter Industriebranchen,
Produktionsintegrierter Umweltschutz**

BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG

Impressum:

Industrieabwasserbehandlung

Herausgeber
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

3. Auflage
August 2013

Druck: docupoint Magdeburg GmbH

Bezugsmöglichkeiten:

Universitätsverlag Weimar
Fax: 03643/581156
E-Mail: verlag@uni-weimar.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: 978-3-86068-321-7

Vorwort

Das Weiterbildende Studium „Wasser und Umwelt“ steht mittlerweile seit 1996 als Synonym für eine kontinuierliche und effektive hochschul- und bundesländerübergreifende Zusammenarbeit Niedersachsen/Thüringen im Bereich der universitären Weiterbildung. Diese Kooperation folgt grundsätzlich dem Prinzip „zwei Universitäten – ein Studium“ im Sinne der Nutzung von Synergien und berücksichtigt hierbei in angemessener Weise ebenso die fachlich-wissenschaftliche und auch organisatorische Eigenständigkeit dieser beiden Einrichtungen.

Zunächst zu Beginn der 1980er Jahre als Fernstudium mit Zertifikatsabschluss am Studienstandort Hannover mit den fachlichen Schwerpunkten Allgemeine Wasserwirtschaft, Gewässerökologie und Gewässerschutz sowie Bodenschutz und Abfallwirtschaft begründet, wurde vom Partner aus Weimar dann ein komplementäres Fernstudienangebot entwickelt, dessen fachliche Schwerpunkte den Wasserbau und die Hydraulik, die Siedlungswasserwirtschaft und die Abfallwirtschaft umfassen. Beide Universitäten haben mittlerweile diese Studienangebote auch zu anerkannten (zertifizierten) Masterstudiengängen weiterentwickelt, so dass auch ein qualifizierter universitärer Hochschulabschluss mit diesen weiterbildenden Masterprogrammen erreicht werden kann. Mit den baukastenartigen, modularen Strukturen wird bei den Studienangeboten „Wasser und Umwelt“ hierbei ein hohes Maß an flexibler und individueller Studienplangestaltung bei gleichzeitiger Wahrung hoher fachinhaltlicher Standards erreicht.

Das vorliegende Buch enthält in der 3. Auflage den überarbeiteten und aktualisierten Stoff eines Fachmoduls aus diesem Studium in Schriftform. Die gemeinsame Veröffentlichung der beiden genannten Hochschulen soll diese Fachinhalte nicht nur für die Studierenden in Hannover oder Weimar erschließen, sondern auch einem erweiterten, fachlich interessierten Kreis außerhalb dieser Studienangebote über die Buchform zugänglich gemacht werden. Gleichzeitig wird mit dieser Veröffentlichung auch die Qualität und der Umfang der Zusammenarbeit mit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) vertieft.

Dieses Buch basiert auf der zweiten Auflage aus dem Jahre 2009 des Fachmoduls „WW54 – Industrieabwasser“ des Weiterbildenden Studiums Wasser und Umwelt der Bauhaus-Universität Weimar, der unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. J. Londong, Weimar und Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel, Hannover, von den Autoren Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. phil. S. Kunst, Prof. Dr.-Ing. R. Gräf, Prof. Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel, Prof. Dr.-Ing. U. Rott, Dr.-Ing. H. Sixt, Dr.-Ing. U. Menzel, Dr.-Ing. D. Bock, Dipl.-Ing. R. Minke, Dipl.-Ing. U. Raesfeld erstellt und auch gepflegt wurde.

Wir danken allen, die an der fachlichen Bearbeitung der vorliegenden Ausgabe mitgewirkt haben, recht herzlich. Dieser Dank gilt neben den beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unserer beiden Lehrstühle (Professur Siedlungswasserwirtschaft in Weimar bzw. Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik in Hannover) vor allem auch Herrn Dipl.-Ing. U. Raesfeld für die Restrukturierung des Kapitels „Rechtsgrundlagen“ und der Überarbeitung des Skriptes.

Unser Dank gilt aber auch den Beteiligten der Arbeitsgruppe Wasser und Umwelt in Weimar, die diese Herausgabe in Buchform erst ermöglicht haben, speziell Herrn Dr.-Ing. H.-W. Frenzel (†), Dipl.-Ing. R. Holzhey und Dipl.-Ing. S. Büttner sowie Herrn Dipl.-Ing. S. Matthias für den Satz bzw. die Gestaltung.

Neben dem Dank für die fachliche Bearbeitung möchten wir Frau Maxine Demharter und ihren Mitarbeitern auch für die Anfertigung einer englischen Übersetzung des Fachinhaltes einen ganz herzlichen Dank aussprechen. Nicht zuletzt bedanken wir uns bei den Teilnehmern für ihr Interesse und ihre vielfältigen Rückmeldungen sowie unseren Ansprechpartnern bei der DWA für ihre kooperative Unterstützung.

Einen speziellen Dank richten wir an das Bundesministerium für Bildung und Forschung die über den Wettbewerb: offene Hochschulen im Rahmen des Projektes Professional.Bauhaus die Überarbeitung zur Übersetzung und damit die Herausgabe dieser dritten Auflage erst angestoßen haben.

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 und Hannover, im August 2013

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong,
Bauhaus-Universität Weimar

Univ. Prof. Dr.-Ing Karl-Heinz Rosenwinkel,
Leibniz Universität Hannover

BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	I
1	Rechtsgrundlagen	1
1.1	Einführung	1
1.2	EU-Recht	1
1.2.1	EWG-Gewässerschutzrichtlinie (76/464/EWG)	2
1.2.2	Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG)	2
1.2.3	IE-Richtlinie (2010/75/EU)	3
1.2.4	Richtlinien über Umweltverträglichkeitsprüfungen (2011/92/EU)	4
1.3	Bundesrecht	4
1.3.1	Wasserhaushaltsgesetz	4
1.3.2	Abwasserverordnung	5
1.3.3	Abwasserabgabengesetz	5
1.3.4	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG)	6
1.4	Landesrecht	6
1.5	Rechtsvorschriften und Regelwerke	7
1.6	Begriffsbestimmungen	7
1.6.1	Stand der Technik, beste verfügbare Technik	7
1.6.2	Schadstoffe, Prioritäre Stoffe, Gefährliche Stoffe	8
1.6.3	Direkteinleiter	8
1.6.4	Indirekteinleiter	8
1.6.5	Produktionsintegrierter Umweltschutz	8
2	Planungsgrundlagen zum Umweltschutz in der Industrierwasserwirtschaft ...	9
2.1	Integration von Umweltschutz in industrielle Prozesse	9
2.1.1	Additiver Umweltschutz	11
2.1.2	Integrierter Umweltschutz	11
2.1.2.1	Produktionsintegrierter Umweltschutz	12
2.1.2.2	Prozessintegrierter Umweltschutz	12
2.2	Planungsgrundlagen	13
2.2.1	Bestandsaufnahme	13
2.2.1.1	Abwasserteilströme	14
2.2.1.2	Abwasserinhaltsstoffe	15
2.2.2	Prozessintegrierte Verfahrensvorschläge	18
2.2.3	Produktionsintegrierte Verfahrensvorschläge	18
2.2.3.1	Produktionsintegrierte Maßnahmen – Mehrfachverwendung von Wässern	18
2.2.3.2	Produktionsintegrierte Maßnahme – Kreislaufführung von Wässern	20
2.2.3.3	Produktionsintegrierte Maßnahme – Stoffrückgewinnungstechniken	21
2.2.4	Abwasservorbehandlung oder -aufbereitung	22
2.2.5	Wirtschaftlichkeitsvergleich	22
3	Mechanisch-Physikalische Verfahren	25
3.1	Mengen- und Konzentrationsausgleich	25
3.1.1	Mengenausgleich	25
3.1.2	Konzentrationsausgleich	27
3.2	Rechen und Siebe	30
3.3	Sedimentation	30
3.3.1	Physikalische Grundlagen	30
3.3.2	Verfahren	32
3.3.2.1	Absetzbecken	32
3.3.2.2	Sandfänge	33
3.3.2.3	Hydrozyklone	35
3.3.2.4	Zentrifugen	36
3.4	Flotation und Abscheidung von Leichtflüssigkeiten, Fetten und Emulsionen	36
3.4.1	Einführung	36
3.4.2	Physikalische Grundlagen	36

3.4.3	Flotation durch Anlagerung von Gasblasen	37
3.4.3.1	Grundlagen	37
3.4.3.2	Flotationsverfahren	38
3.4.3.3	Bemessung	40
3.4.4	Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten, Fette und Emulsionen	42
3.4.4.1	Einführung	42
3.4.4.2	Verfahren	43
3.4.4.3	Bemessung von Leichtflüssigkeits-, Fett- und Koaleszenzabscheidern	44
3.4.4.4	Beispiel für die Entsorgung von Fett aus Abscheideranlagen	47
3.5	Filtration	47
3.5.1	Einführung	47
3.5.2	Raumfiltration	48
3.5.2.1	Grundlagen der Raumfiltration	48
3.5.2.2	Bemessung, Betrieb	49
3.5.2.3	Raumfiltrationsverfahren	52
3.5.3	Oberflächenfiltration	53
3.6	Membrantechnik	54
3.6.1	Einleitung	54
3.6.2	Diffusion und osmotischer Druck	55
3.6.3	Hinweise zur Bemessung	56
3.6.4	Membranen und Module	58
3.7	Eindampfung, Trocknung	59
4	Chemisch-Physikalische Verfahren	63
4.1	Neutralisation, Fällung, Flockung	63
4.1.1	Einleitung	63
4.1.2	Neutralisation	64
4.1.2.1	Grundlagen	64
4.1.2.2	Neutralisationsmittel	65
4.1.3	Fällung	66
4.1.3.1	Grundlagen	66
4.1.3.2	Fällung von Kationen bzw. Metallen	67
4.1.3.3	Fällung von Anionen	72
4.1.4	Flockung	74
4.1.4.1	Grundlagen	74
4.1.5	Verfahren	76
4.1.5.1	Neutralisations- und Fällungsverfahren	76
4.1.5.2	Flockungsverfahren	77
4.1.5.3	Emulsionsspaltung	79
4.2	Adsorption	79
4.2.1	Grundlagen	79
4.2.2	Aktivkohleadsorption	80
4.2.2.1	Charakterisierung des Adsorbens Aktivkohle	80
4.2.2.2	Adsorptionsgleichgewicht	81
4.2.2.3	Adsorptionskinetik	84
4.2.3	Verfahren der Adsorption	85
4.2.3.1	Verfahren der Pulveraktivkohleanwendung	85
4.2.3.2	Verfahren der Kornkohleanwendung	86
4.2.4	Kombination Adsorption – Biologie	89
4.2.4.1	Adsorption vor der biologischen Stufe	89
4.2.4.2	Adsorption simultan zur biologischen Behandlung	89
4.2.4.3	Adsorption nach der biologischen Stufe	89
4.2.5	Regeneration der Aktivkohle	90
4.2.5.1	Thermische Regeneration	90
4.2.5.2	Chemische Regeneration	90
4.2.5.3	Biologische Regeneration	90
4.2.6	Ionenaustauschverfahren	90
4.3	Oxidations-/Reduktionsverfahren	92
4.3.1	Grundlagen	92
4.3.2	Verfahren	92

5	Biologische Verfahren zur Stoffumsetzung	97
5.1	Einführung in die biologische Industrieabwasserreinigung	97
5.2	Abwasserinhaltsstoffe	97
5.3	Aerobe biologische Stoffumsetzung	99
5.3.1	Grundlagen	99
5.3.2	Abbau von Kohlenstoffverbindungen	100
5.3.2.1	Stoffwechsel	100
5.3.2.2	Biologisches Wachstum	102
5.3.3	Stickstoffumsetzung	104
5.3.3.1	Nitrifikation	104
5.3.3.2	Denitrifikation	107
5.3.3.3	Neue Entwicklungen	108
5.3.4	Biologische Phosphorelimination	109
5.3.5	Struktur aerob belebter Schlämme	110
5.4	Aerobe Reaktoren	112
5.4.1	Hinweise zur Bemessung	112
5.4.2	Aerobe Verfahren ohne Biomassenrückhalt	114
5.4.3	Aerobe Verfahren mit suspendierter Biomasse	114
5.4.3.1	Belebungsverfahren	114
5.4.3.2	Reinsauerstoffverfahren	117
5.4.3.3	Verfahren mit besonderer Tiefe und Form der Reaktoren	117
5.4.3.4	Verfahren mit Batch-Betrieb	119
5.4.3.5	Verfahren ohne konventionelle Nachklärung	121
5.4.4	Aerobe Verfahren mit sessiler Biomasse	122
5.4.4.1	Tropfkörper	122
5.4.4.2	Wirbelbettreaktor	124
5.5	Anaerobe biologische Stoffumsetzung	126
5.5.1	Grundlagen	126
5.5.2	Stoffwechsel, Biologisches Wachstum	126
5.5.3	Struktur anaerob belebter Schlämme	129
5.6	Anaerobe Reaktoren	130
5.6.1	Hinweise zur Bemessung	130
5.6.2	Anaerobe Reaktoren	131
5.6.2.1	Ausschwemmreaktoren (Rührkessel, CSTR (continuously stirred tank reactor))	133
5.6.2.2	Anaerobes Belebungsverfahren (Kontaktschlammverfahren, contact-Process)	134
5.6.2.3	Schlammbettreaktoren, UASB-Reactor (Upflow anaerobic sludge blanket reactor)	134
5.6.2.4	Festbettreaktoren, Anaerober Filter (Fixed-Film-Reactor)	135
5.6.2.5	Wirbelbettreaktoren (Fluidised-Bed)	135
5.6.2.6	Ein- und zweistufige Verfahren	136
6	Beispiele industrieller Abwasserreinigung	137
6.1	Einführung	137
6.1.1	Gliederung der Industrien	137
6.1.2	Merkmale, Anforderungen	138
6.2	Abwasserbehandlung in der Nahrungsmittelindustrie	140
6.2.1	Allgemeines/ Übersicht	140
6.2.2	Zuckerfabriken	142
6.2.2.1	Charakterisierung der Branche	142
6.2.2.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	144
6.2.2.3	Abwasserbehandlung	144
6.2.2.4	Zucker verarbeitende Industrie: Süßwarenherstellung	145
6.2.3	Stärkefabriken	146
6.2.3.1	Charakterisierung der Branche	146
6.2.3.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	147
6.2.3.3	Abwasserbehandlung	148
6.2.4	Speiseöl- und Fettherstellung	149
6.2.4.1	Charakterisierung der Branche	149
6.2.4.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	150
6.2.4.3	Abwasserbehandlung	152
6.2.4.4	Modifikation: Umesterung	152
6.2.5	Kartoffelveredelungsindustrie	153
6.2.5.1	Charakterisierung der Branche	153
6.2.5.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	153
6.2.5.3	Abwasserbehandlung	154

6.2.6	Gemüse und Obst verarbeitende Industrie	155
6.2.6.1	Charakterisierung der Branche	155
6.2.6.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	157
6.2.6.3	Abwasserbehandlung	158
6.2.6.4	Fruchtsaftherstellung	159
6.2.7	Brauereien	160
6.2.7.1	Charakterisierung der Branche	160
6.2.7.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	162
6.2.7.3	Abwasserbehandlung	162
6.2.8	Brennereien	165
6.2.8.1	Charakterisierung der Branche	165
6.2.8.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	165
6.2.8.3	Abwasserbehandlung	166
6.2.9	Milch verarbeitende Industrie	166
6.2.9.1	Charakterisierung der Branche	166
6.2.9.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	167
6.2.9.3	Abwasserbehandlung	168
6.2.10	Schlachthöfe	169
6.2.10.1	Charakterisierung der Branche	169
6.2.10.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	170
6.2.10.3	Abwasserbehandlung	173
6.3	Sonstige Industrien mit überwiegend organischen Inhaltsstoffen	174
6.3.1	Textilindustrie	174
6.3.1.1	Charakterisierung der Branche	174
6.3.1.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	175
6.3.1.3	Abwasservermeidung, Abwasserbehandlung	178
6.3.2	Abwasser aus der Lederherstellung	181
6.3.2.1	Charakterisierung der Branche	181
6.3.2.2	Abwasseranfall und -beschaffenheit, Anforderungen	181
6.3.2.3	Abwasserbehandlung	182
6.3.3	Abwässer aus der Papier- und Zellstoffherstellung	183
6.3.3.1	Papierverbrauch und Papierindustrie in Deutschland	183
6.3.3.2	Rohstoffeinsatz und -aufbereitung	183
6.3.3.3	Beschreibung des Papierherstellungsprozesses	185
6.3.3.4	Wasserkreisläufe und innerbetriebliche Maßnahmen	186
6.3.3.5	Anfall und Zusammensetzung des Restabwassers, Einleitbedingungen	189
6.3.3.6	Abwasserbehandlungsverfahren	191
6.4	Übersicht zur Wasserwirtschaft in der chemischen Industrie	196
6.4.1	Allgemeines/ Übersicht	196
6.4.2	Produktionsverfahren	196
6.4.3	Abwasserinhaltsstoffe, Anforderungen, Abwasserbehandlung	198
6.4.3.1	Abwasserinhaltsstoffe, Anforderungen	198
6.4.3.2	Innerbetriebliche Maßnahmen	198
6.4.3.3	Abwasserbehandlung	199
6.5	Abwasserbehandlung in der Metallindustrie	200
6.5.1	Allgemeines/ Übersicht	200
6.5.2	Abwasserinhaltsstoffe, Anforderungen, Abwasserbehandlung	201
6.5.3	Galvanik	203
6.5.3.1	Charakterisierung der Branche	203
6.5.3.2	Entfetten	204
6.5.3.3	Beizen	205
6.5.3.4	Elektrochemische Metallabscheidung	205
6.5.3.5	Abwasseranfall und Abwasserbeschaffenheit, Anforderungen	206
6.5.3.6	Innerbetriebliche Maßnahmen zur Abwasserreduzierung nach Menge und Beschaffenheit, Abwasserbehandlung	207
6.6	Übersicht über die Abwasserbehandlung in der Schwerindustrie	208
6.6.1	Allgemeines/ Übersicht	208
6.6.2	Hüttenwerke	208
6.6.2.1	Eisen- und Stahlindustrie – Halbzeugwerke	208
6.6.2.2	Nichteisenmetallindustrie	211
6.6.3	Steine-Erden-Industrie	211
6.6.4	Glasindustrie	212

6.6.5	Raffinerien	213
6.6.5.1	Petrochemische Industrie	213
6.6.5.2	Erdölraffinerien	213
6.7	Abkürzungsverzeichnis – BREF codes	216
	Literaturverzeichnis	217
Glossar		225
Stichwortverzeichnis		249

BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG