

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	VII
<b>1 Anforderungen an Trinkwasser und die Trinkwasseraufbereitung</b> .....	1
<b>1.1 Trinkwasserversorgung in Deutschland</b> .....	1
<b>1.2 Anforderungen an Trinkwasser</b> .....	3
1.2.1 Wasserinhaltsstoffe .....	4
1.2.2 Gesetzliche Vorgaben .....	4
1.2.3 Summenparameter .....	5
1.2.4 Mikrobiologische Parameter .....	5
1.2.5 Anorganische Parameter .....	6
1.2.6 Organische Spurenstoffe .....	7
1.2.7 Untersuchungsfrequenz .....	8
1.2.8 Leitwerte und gesundheitliche Orientierungswerte .....	9
1.2.9 Datenverfügbarkeit .....	9
<b>1.3 Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung</b> .....	10
1.3.1 Risikoabschätzung und Risikomanagement .....	10
1.3.2 Technische Regeln .....	11
1.3.3 Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren .....	12
1.3.4 Herausforderungen der Trinkwasseraufbereitung .....	13
1.3.5 Umweltauswirkungen .....	14
1.3.6 Private Nachbehandlung von Trinkwasser .....	14
<b>2 Flockung, Sedimentation und Tiefenfiltration</b> .....	17
<b>2.1 Grundlagen und Verfahrenstechnik</b> .....	17
2.1.1 Partikel und Kolloide als Wasserinhaltsstoffe .....	17
2.1.2 Verfahren der Partikel- und Kolloidabscheidung .....	19
2.1.3 Flockung .....	20
2.1.3.1 Aufbereitungsstoffe für die Flockung .....	21
2.1.3.2 Mechanismen der Flockung .....	26
2.1.4 Grundlagen der Sedimentation .....	29
2.1.5 Grundlagen der Tiefenfiltration .....	32
2.1.5.1 Allgemeines .....	32
2.1.5.2 Langsamfilter/Langsamsandfilter .....	35
2.1.5.3 Schnellfilter .....	36
2.1.5.4 Filtermaterial .....	37

2.1.5.5	Bau- und Betriebsweise von Schnellfiltern . . . . .	38
2.1.5.6	Spülung von Schnellfiltern . . . . .	42
2.1.5.7	Makroskopische Modelle für das Verhalten von Schnellfiltern . . . . .	46
<b>2.2</b>	<b>Praxisbeispiele und Optimierungsstrategien . . . . .</b>	<b>54</b>
2.2.1	Einsatzbereiche und Aufbereitungsziele der Partikelentfernung . . . . .	54
2.2.1.1	Einsatzbereiche der Partikelentfernungsverfahren . . . . .	54
2.2.1.2	Aufbereitungsziele der Partikelentfernung . . . . .	55
2.2.2	Anforderungen an die Flockung . . . . .	57
2.2.2.1	Mess- und Zielparameter der Flockung . . . . .	58
2.2.2.2	Flockungstestverfahren . . . . .	61
2.2.3	Verfahrenstechnik der Flockung . . . . .	63
2.2.3.1	Mischung und Entstabilisierung . . . . .	63
2.2.3.2	Flockenbildung . . . . .	66
2.2.3.3	Flockungs- und Flockenabtrennanlagen . . . . .	68
2.2.3.4	Flockung und Wasserqualität . . . . .	71
2.2.3.5	Optimierung der Flockung . . . . .	72
2.2.3.6	Störungen der Flockung und Abhilfemaßnahmen . . . . .	79
2.2.4	Technische Sedimentation . . . . .	80
2.2.4.1	Dimensionierung eines Sedimentationsbeckens . . . . .	80
2.2.4.2	Technische Ausführungen von Sedimentationsanlagen . . . . .	81
2.2.5	Schnellfiltration . . . . .	85
2.2.5.1	Trübstofffiltration . . . . .	85
2.2.5.2	Flockungsmittel- und Flockungshilfsmitteldosierung . . . . .	88
2.2.5.3	Einfluss der Vorozonung auf den Partikelrückhalt . . . . .	89
2.2.5.4	Kontrolle von Filteranlagen . . . . .	90
<b>2.3</b>	<b>Uferfiltration und Grundwasseranreicherung . . . . .</b>	<b>92</b>
2.3.1	Einleitung . . . . .	92
2.3.2	Uferfiltration an Flüssen und Seen . . . . .	95
2.3.3	Grundwasseranreicherung . . . . .	100
2.3.4	Aufbereitungswirkungen der Uferfiltration und Grundwasseranreicherung . . . . .	102
2.3.4.1	Hygienische Parameter . . . . .	102
2.3.4.2	Physikalische Parameter . . . . .	102
2.3.4.3	Chemische Wasserqualität . . . . .	103

<b>3 Membranverfahren – Grundlagen und Praxisanwendungen</b> .....	109
<b>3.1 Einteilung der Membranprozesse</b> .....	109
<b>3.2 Einsatzbereiche der Membranverfahren</b> .....	111
<b>3.3 Membranen und Module</b> .....	112
3.3.1 Membranaufbau, Materialien und Formen .....	112
3.3.2 Membranelemente und -module .....	115
<b>3.4 Leistungsparameter</b> .....	116
3.4.1 Membranflux und transmembraner Druck .....	116
3.4.2 Permeabilität .....	117
3.4.2.1 Membranpermeabilität .....	117
3.4.2.2 Nettopermeabilität .....	119
3.4.2.3 Standardisierung und Normalisierung der Permeabilität .....	121
3.4.3 Rückhaltung und Salzpassage .....	122
3.4.3.1 Berechnung und Abhängigkeiten .....	122
3.4.3.2 Standardisierung und Normalisierung der Salzpassage .....	125
3.4.4 Ausbeute .....	126
3.4.5 Hydraulischer Druckverlust .....	127
3.4.5.1 Berechnung und Abhängigkeiten .....	127
3.4.5.2 Standardisierung und Normalisierung des hydraulischen Druckverlusts .....	127
<b>3.5 Generelle Aspekte für druckgetriebene Membranverfahren</b> .....	129
3.5.1 Prinzipielle Betriebsweisen .....	129
3.5.2 Konzentrationsfaktor .....	133
3.5.3 Fouling und Scaling .....	133
3.5.4 Intensivreinigung (CIP = Cleaning in Place) .....	135
<b>3.6 Betrieb von Nanofiltration und Umkehrosmose</b> .....	137
3.6.1 Wickelemente und Druckrohrmodule .....	137
3.6.2 Anordnung von Druckrohren in Stufen und Straßen .....	139
3.6.3 Hydraulischer Druckverlust in Druckrohren .....	141
3.6.4 Längsprofile in Druckrohren .....	142
3.6.5 Konzentrationspolarisation .....	144
3.6.6 Teilstromaufbereitung .....	145
3.6.7 Fouling und Scaling in Wickelementen und Druckrohren .....	145
3.6.7.1 Ort des Auftretens .....	145
3.6.7.2 Beurteilung des Fouling- und Scaling-potenzials .....	146
3.6.7.3 Maßnahmen gegen Fouling und Scaling .....	147
3.6.8 Konzentrate .....	149
3.6.9 Nachbehandlung .....	150
3.6.10 Überwachung .....	151

3.6.11	Dimensionierung und Design .....	154
3.6.11.1	Bestimmung der Volumenströme der Gesamtanlage .....	154
3.6.11.2	Mittlerer Membranflux .....	154
3.6.11.3	Ausbeute sowie Art und Dosiermenge des Antiscalants.....	154
3.6.11.4	Auswahl des Membranelements.....	155
3.6.11.5	Bestimmung der Massenflüsse .....	156
3.6.11.6	Designleitlinien und -software .....	156
3.6.11.7	Membranfläche, Anzahl der Membranelemente und Stufen .....	157
<b>3.7</b>	<b>Betrieb von Mikrofiltration und Ultrafiltration</b> .....	<b>158</b>
3.7.1	Fouling und Scaling in Kapillarelementen und -modulen..	158
3.7.1.1	Maßgebliche Foulingart und Ort des Auftretens .....	158
3.7.1.2	Beurteilung des Foulingpotenzials .....	159
3.7.1.3	Maßnahmen gegen Fouling .....	159
3.7.2	Kapillarelemente, -module und deren Anordnung .....	163
3.7.3	Kombinierte Prozesse .....	167
3.7.4	Dimensionierung .....	169
3.7.4.1	Installierte Membranfläche, Brutto- und Netto-Flux .....	169
3.7.4.2	Anzahl der Straßen .....	169
<b>3.8</b>	<b>Fallbeispiele</b> .....	<b>170</b>
3.8.1	Umkehrosmose und Nanofiltration .....	170
3.8.1.1	Trinkwasserproduktion im Wasserwerk Löhnen in Dinslaken .....	170
3.8.1.2	Trinkwasseraufbereitung im Wasserwerk Sandweier, Baden-Baden .....	172
3.8.2	Ultrafiltration und Mikrofiltration .....	173
3.8.2.1	Trinkwasserproduktion im Wasserwerk Roetgen bei Aachen .....	173
3.8.2.2	Spülwasseraufbereitung im Wasserwerk Roetgen bei Aachen .....	176
3.8.2.3	Trinkwasserproduktion im Wasserwerk Irsch bei Trier .....	177
3.8.2.4	Trinkwasserproduktion im Seewasserwerk Hirsacker, Schweiz .....	178
3.8.2.5	Trinkwasserproduktion im Pumpwerk Süßen bei Eislingen .....	178

<b>4 Adsorption an Aktivkohle . . . . .</b>	181
<b>4.1 Einleitung . . . . .</b>	181
<b>4.2 Theoretische Grundlagen . . . . .</b>	181
4.2.1 Begriffe der Adsorption . . . . .	181
4.2.2 Adsorptionsgleichgewicht . . . . .	182
4.2.3 Adsorptionskinetik . . . . .	186
4.2.4 Pulver- und Kornkohleanwendung – Theoretische Betrachtung . . . . .	186
<b>4.3 Aktivkohle . . . . .</b>	188
4.3.1 Herstellung von Aktivkohlen . . . . .	188
4.3.2 Anwendungsformen von Aktivkohlen . . . . .	191
4.3.3 Gesetzliche Anforderungen an Aktivkohlen . . . . .	191
<b>4.4 Praxis: Adsorptionsverfahren zur Trinkwasseraufbereitung . . . . .</b>	192
4.4.1 Einsatzgebiete von Adsorptionsverfahren mit Aktivkohle . . . . .	192
4.4.2 Einsatz von Kornaktivkohle . . . . .	193
4.4.2.1 Verfahrenstechnische Grundlagen der Aktivkohlefiltration . . . . .	193
4.4.2.2 Anwendungsbeispiele und Einflussgrößen . . . . .	197
4.4.3 Anwendung von Pulveraktivkohle . . . . .	202
<b>4.5 Auswahl geeigneter Aktivkohlen . . . . .</b>	205
<b>4.6 Aktuelle Themen . . . . .</b>	207
4.6.1 Entfernung von PFAS mit Aktivkohle . . . . .	207
4.6.2 Aktivkohleeinsatz im Wasserwerk – Neue Trends . . . . .	210
<b>5 Oxidation und Desinfektion . . . . .</b>	213
<b>5.1 Einleitung . . . . .</b>	213
<b>5.2 Oxidation in der Trinkwasseraufbereitung . . . . .</b>	213
<b>5.3 Desinfektion von Trinkwasser . . . . .</b>	217
5.3.1 Hintergrund . . . . .	217
5.3.2 Desinfektion mit Chlor und Hypochloriten . . . . .	221
5.3.3 Desinfektion mit Chlordioxid . . . . .	225
5.3.4 Desinfektion mit Ozon . . . . .	227
5.3.5 Desinfektion durch UV-Bestrahlung . . . . .	228
5.3.6 Anwendungsbereiche der Desinfektionsmittel und -verfahren . . . . .	232
<b>6 Enteisenung und Entmanganung . . . . .</b>	235
<b>6.1 Hintergründe und Verfahrenstechnik . . . . .</b>	235
6.1.1 Einleitung . . . . .	235
6.1.2 Aufbereitungsziel . . . . .	236

6.1.3	Naturwissenschaftliche Grundlagen.....	237
6.1.3.1	Chemische Grundlagen.....	237
6.1.3.2	Mikrobiologische Grundlagen .....	239
6.1.4	Randbedingungen der biologischen Enteisung und Entmanganung.....	240
6.1.5	Verfahrenskonzeption und Anlagenbemessung .....	240
<b>6.2</b>	<b>Anwendungen .....</b>	<b>243</b>
6.2.1	Einleitung.....	243
6.2.2	Verfahrensgestaltung.....	243
6.2.3	Betriebliche Aspekte .....	246
6.2.3.1	Einarbeitung .....	246
6.2.3.2	Filterspülung .....	246
6.2.3.3	Betriebsstörungen .....	247
<b>7</b>	<b>Stabilisierung .....</b>	<b>249</b>
<b>7.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>249</b>
7.1.1	Begriffe und Definitionen .....	250
7.1.2	Stabilisierungsverfahren.....	250
<b>7.2</b>	<b>System Kohlenstoffdioxid/Wasser .....</b>	<b>252</b>
7.2.1	Wasserchemische Beurteilungsgrößen .....	252
7.2.2	Anforderungen an die Trinkwasserqualität .....	253
7.2.3	Grundlagen.....	253
7.2.4	Berechnung des pH-Werts.....	258
7.2.5	m- und p-Wert .....	259
7.2.6	Auswirkung von Zusätzen.....	260
7.2.7	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht .....	262
7.2.7.1	Sättigungsindex .....	262
7.2.7.2	Tillmanskurve .....	263
7.2.7.3	Calcitlösekapazität $D_c$ .....	266
7.2.7.4	Mischung von Wässern .....	268
<b>7.3</b>	<b>Entsäuerung.....</b>	<b>270</b>
7.3.1	Entsäuerungsverfahren und Vorzugsbereiche .....	270
7.3.2	Entsäuerungsziel.....	272
7.3.3	Nebeneffekte .....	274
7.3.4	Physikalische Entsäuerungsverfahren .....	275
7.3.5	Chemische Entsäuerungsverfahren .....	276
7.3.5.1	Filterverfahren .....	276
7.3.5.2	Dosierverfahren .....	281
7.3.5.3	Verfahrenskombinationen.....	284
<b>7.4</b>	<b>Versorgung mit unterschiedlichen Trinkwässern.....</b>	<b>285</b>
7.4.1	Definition der Unterschiedlichkeit von Wässern .....	285

7.4.2	Technische Maßnahmen bei der Verteilung unterschiedlicher Wässer .....	287
7.4.2.1	Zontrennung .....	287
7.4.2.2	Mischung .....	287
7.4.2.3	Aufbereitungsmaßnahmen .....	288
7.4.3	Beispiele für die Versorgung mit unterschiedlichen Wässern .....	288
7.5	<b>Dosierung von Inhibitoren</b> .....	290
7.5.1	Allgemeines .....	290
7.5.2	Begleitende Maßnahmen .....	291
7.5.3	Nebenwirkungen .....	292
7.6	<b>Ursachen von Rostwasser und Netzspülung</b> .....	292
<b>8</b>	<b>Enthärtung</b> .....	297
8.1	<b>Einführung</b> .....	297
8.2	<b>Gründe einer zentralen Enthärtung</b> .....	297
8.3	<b>Zielvorgaben einer zentralen Enthärtung</b> .....	299
8.4	<b>Verfahren zur Härteverringerung</b> .....	300
8.4.1	Fällungsverfahren .....	301
8.5	<b>Verfahrenstechnik der Fällungsverfahren</b> .....	305
8.5.1	Ionenaustauschverfahren .....	308
8.5.2	Membranverfahren .....	311
8.6	<b>Gegenüberstellung der Verfahren</b> .....	313
8.7	<b>Anforderungen der Enthärtungsverfahren an das Rohwasser</b> .....	315
8.8	<b>Entscheidungskriterien für die Verfahrenswahl</b> .....	316
8.9	<b>Fazit</b> .....	316
<b>9</b>	<b>Aufbereitungsrückstände</b> .....	319
9.1	<b>Einleitung</b> .....	319
9.2	<b>Stand der Verwertung und Vermarktung</b> .....	319
9.3	<b>Behandlung</b> .....	321
9.4	<b>Verwertungswege für Wasserwerksschlamm</b> .....	324
9.4.1	Gewerbliche Wirtschaft .....	325
9.4.2	Land- und Forstwirtschaft, Umwelttechnik .....	326
9.4.3	Abwasseranlagen .....	327
9.5	<b>Sonstige Rückstände</b> .....	330

<b>10 Planung und Konzeption von Aufbereitungsanlagen</b> .....	333
<b>10.1 Wann muss über Veränderungen an der Aufbereitungsanlage nachgedacht werden?</b> .....	333
<b>10.2 Phasen der Planung</b> .....	334
10.2.1 Definition der Leistungsphasen .....	334
10.2.2 Grundlagenermittlung .....	335
10.2.3 Begutachtungen und Studien .....	336
10.2.4 Vorplanung .....	337
10.2.5 Entwurfs- und Genehmigungsplanung .....	340
10.2.6 Ausführungsplanung .....	343
10.2.7 Zusatzleistungen innerhalb der Planungsphasen .....	344
10.2.7.1 Projektmanagement mit Risikoanalyse für das Projekt .....	344
10.2.7.2 HACCP .....	345
10.2.7.3 CE-Gefährdungsanalyse .....	346
10.2.7.4 Baustellen-Logistik-Konzept (BLK) .....	347
10.2.8 Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe .....	348
10.2.8.1 Leistungsbeschreibung funktional oder detailliert? .....	348
10.2.8.2 Vergaberecht .....	349
10.2.8.3 Auswerten der Angebote .....	352
10.2.9 Bauüberleitung und Örtliche Bauüberwachung .....	353
<b>10.3 Planungsbüro für Wasseraufbereitungsanlagen</b> .....	355
10.3.1 Projektmanagement .....	355
10.3.1.1 Notwendigkeit .....	356
10.3.1.2 Kommunikation und Dokumentation .....	356
10.3.1.3 Kosten- und Zeitmanagement .....	356
10.3.2 Kapazität .....	357
10.3.3 Qualifikation und Erfahrung .....	358
10.3.4 Ökologie und Nachhaltigkeit .....	358
10.3.5 Digitalisierung .....	359
10.3.6 Leitsätze für den Planer .....	359
<b>Anhang</b> .....	362
Checkliste Grundlagen zur Planung von Wasseraufbereitungsanlagen .....	362

<b>11 Qualitätssicherung in der Wasseraufbereitung .....</b>	367
<b>11.1 Einführung .....</b>	367
<b>11.2 Überwachung der Rohwassergüte .....</b>	368
<b>11.3 Prozesskontrolle.....</b>	369
11.3.1 Kontinuierliche Wassergütemessungen (Online-Messungen).....	369
11.3.2 Überwachungs- und Steuerungsstrategien .....	373
<b>11.4 Sorgfältiger Aufbereitungsstoffeinsatz.....</b>	378
11.4.1 Allgemeines .....	378
11.4.1.1 Grundsätze .....	378
11.4.1.2 Rechtliche Regelungen .....	379
11.4.2 Auswahl und Beschaffung .....	380
11.4.3 Warenannahme und produktsspezifische Prüfung .....	381
11.4.4 Ergänzende, produktsspezifische Prüfung .....	382
11.4.5 Dokumentation.....	384
11.4.6 Erfahrungen aus der Wasserwerkspraxis .....	384
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	388
<b>Inserentenverzeichnis .....</b>	396