

Inhaltsverzeichnis

**Vorwort** ..... V

**Autorenverzeichnis** ..... VII

**1 Anforderungen an Trinkwasser und die Trinkwasseraufbereitung...** 1

**1.1 Trinkwasserversorgung in Deutschland** ..... 1

**1.2 Anforderungen an Trinkwasser.** ..... 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

**1.3 Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung** ..... 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

**2 Flockung, Sedimentation und Tiefenfiltration** ..... 17

**2.1 Grundlagen und Verfahrenstechnik** ..... 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 Partikelentfernungs- verfahren .....	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 Abhilfe- maßnahmen.....	79
2.2.4	Technische Sedimentation.....	80
2.2.4.1	Dimensionierung eines Sedimentations- beckens .....	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 Flockungshilfsmittel- dosierung.....	88
2.2.5.3	Einfluss der Vorozonung auf den Partikel- rückhalt.....	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</b>	<b>Membranverfahren – Grundlagen und Praxisanwendungen</b>	<b>109</b>
<b>3.1</b>	<b>Einteilung der Membranprozesse</b>	<b>109</b>
<b>3.2</b>	<b>Einsatzbereiche der Membranverfahren</b>	<b>111</b>
<b>3.3</b>	<b>Membranen und Module</b>	<b>112</b>
3.3.1	Membranaufbau, Materialien und Formen	112
3.3.2	Membranelemente und -module	115
<b>3.4</b>	<b>Leistungsparameter</b>	<b>116</b>
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</b>	<b>Generelle Aspekte für druckgetriebene Membranverfahren</b>	<b>129</b>
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</b>	<b>Betrieb von Nanofiltration und Umkehrosmose</b>	<b>137</b>
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 Scalingpotenzials	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 Membran- elemente 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 Löhlen 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</b>	<b>Adsorption an Aktivkohle</b>	<b>181</b>
4.1	Einleitung	181
4.2	Theoretische Grundlagen	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
4.3	Aktivkohle	188
4.3.1	Herstellung von Aktivkohlen	188
4.3.2	Anwendungsformen von Aktivkohlen	191
4.3.3	Gesetzliche Anforderungen an Aktivkohlen	191
4.4	Praxis: Adsorptionsverfahren zur Trinkwasseraufbereitung	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
4.5	Auswahl geeigneter Aktivkohlen	205
4.6	Aktuelle Themen	207
4.6.1	Entfernung von PFAS mit Aktivkohle	207
4.6.2	Aktivkohleeinsatz im Wasserwerk – Neue Trends	210
<b>5</b>	<b>Oxidation und Desinfektion</b>	<b>213</b>
5.1	Einleitung	213
5.2	Oxidation in der Trinkwasseraufbereitung	213
5.3	Desinfektion von Trinkwasser	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</b>	<b>Enteisenung und Entmanganung</b>	<b>235</b>
6.1	Hintergründe und Verfahrenstechnik	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	Zonentrennung.....	287
7.4.2.2	Mischung.....	287
7.4.2.3	Aufbereitungsmaßnahmen.....	288
7.4.3	Beispiele für die Versorgung mit unterschiedlichen Wässern.....	288
<b>7.5</b>	<b>Dosierung von Inhibitoren.....</b>	<b>290</b>
7.5.1	Allgemeines.....	290
7.5.2	Begleitende Maßnahmen.....	291
7.5.3	Nebenwirkungen.....	292
<b>7.6</b>	<b>Ursachen von Rostwasser und Netzspülung.....</b>	<b>292</b>
<b>8</b>	<b>Enthärtung.....</b>	<b>297</b>
<b>8.1</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>297</b>
<b>8.2</b>	<b>Gründe einer zentralen Enthärtung.....</b>	<b>297</b>
<b>8.3</b>	<b>Zielvorgaben einer zentralen Enthärtung.....</b>	<b>299</b>
<b>8.4</b>	<b>Verfahren zur Härteverringerng.....</b>	<b>300</b>
8.4.1	Fällungsverfahren.....	301
<b>8.5</b>	<b>Verfahrenstechnik der Fällungsverfahren.....</b>	<b>305</b>
8.5.1	Ionenaustauschverfahren.....	308
8.5.2	Membranverfahren.....	311
<b>8.6</b>	<b>Gegenüberstellung der Verfahren.....</b>	<b>313</b>
<b>8.7</b>	<b>Anforderungen der Enthärtungsverfahren an das Rohwasser.....</b>	<b>315</b>
<b>8.8</b>	<b>Entscheidungskriterien für die Verfahrenswahl.....</b>	<b>316</b>
<b>8.9</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>316</b>
<b>9</b>	<b>Aufbereitungsrückstände.....</b>	<b>319</b>
<b>9.1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>319</b>
<b>9.2</b>	<b>Stand der Verwertung und Vermarktung.....</b>	<b>319</b>
<b>9.3</b>	<b>Behandlung.....</b>	<b>321</b>
<b>9.4</b>	<b>Verwertungswege für Wasserwerksschlamm.....</b>	<b>324</b>
9.4.1	Gewerbliche Wirtschaft.....	325
9.4.2	Land- und Forstwirtschaft, Umwelttechnik.....	326
9.4.3	Abwasseranlagen.....	327
<b>9.5</b>	<b>Sonstige Rückstände.....</b>	<b>330</b>

<b>10 Planung und Konzeption von Aufbereitungsanlagen</b>	<b>333</b>
<b>10.1 Wann muss über Veränderungen an der Aufbereitungsanlage nachgedacht werden?</b>	<b>333</b>
<b>10.2 Phasen der Planung</b>	<b>334</b>
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 Bauoberleitung und Örtliche Bauüberwachung	353
<b>10.3 Planungsbüro für Wasseraufbereitungsanlagen</b>	<b>355</b>
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>	<b>362</b>
Checkliste Grundlagen zur Planung von Wasseraufbereitungsanlagen	362



<b>11 Qualitätssicherung in der Wasseraufbereitung .....</b>	<b>367</b>
<b>11.1 Einführung .....</b>	<b>367</b>
<b>11.2 Überwachung der Rohwassergüte .....</b>	<b>368</b>
<b>11.3 Prozesskontrolle.....</b>	<b>369</b>
11.3.1 Kontinuierliche Wassergütemessungen (Online-Messungen).....	369
11.3.2 Überwachungs- und Steuerungsstrategien .....	373
<b>11.4 Sorgfältiger Aufbereitungsstoffeinsatz.....</b>	<b>378</b>
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 produktspezifische Prüfung .....	381
11.4.4 Ergänzende, produktspezifische Prüfung .....	382
11.4.5 Dokumentation.....	384
11.4.6 Erfahrungen aus der Wasserwerkspraxis .....	384
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>388</b>
<b>Inserentenverzeichnis .....</b>	<b>396</b>