

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine chemische Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Stoffarten .....	2
1.1.1	Reine Stoffe .....	2
1.1.2	Homogene und heterogene Mischungen .....	2
1.1.3	Trennung von Stoffgemischen .....	3
1.1.4	Einteilung reiner Stoffe .....	4
1.1.5	Elemente .....	5
1.1.6	Verbindungen .....	5
<b>2</b>	<b>Atomarer Aufbau der Materie</b>	<b>7</b>
2.1	Aufbau der Elemente .....	7
2.1.1	Elementarteilchen .....	7
2.1.2	Atome .....	8
2.2	Elektronenhülle und Periodensystem .....	13
2.2.1	Bohr'sches Atommodell .....	13
2.2.2	Quantenzahlen .....	14
2.2.3	Aufbau der Atome .....	15
2.2.4	Periodensystem der Elemente .....	21
<b>3</b>	<b>Chemische Bindung</b>	<b>29</b>
3.1	Ionenbindung .....	29
3.2	Elektronenpaarbindung (Kovalenzbindung, Atombindung) .....	31
3.3	Metallbindung .....	33
3.4	Zwischenmolekulare Kräfte .....	34
3.4.1	Wechselwirkung zwischen Ionen und Dipolmolekülen ..	36
3.4.2	Wechselwirkung zwischen Ionen und Molekülen mit induziertem Dipolmoment .....	36
3.4.3	Wechselwirkung zwischen zwei Dipolmolekülen .....	37
3.4.4	Wechselwirkung zwischen Dipolmolekülen und Molekülen mit induziertem Dipolmoment .....	37

3.4.5	Wechselwirkung zwischen Molekülen mit induziertem Dipolmoment .....	37
3.5	Wasserstoffbrückenbindung .....	38
<b>4</b>	<b>SI-Einheiten der Wasserchemie .....</b>	<b>41</b>
4.1	Definitionen .....	42
4.1.1	Stoffmenge $n$ .....	42
4.1.2	Äquivalent (Äquivalentteilchen) .....	42
4.1.3	Molare Masse $M$ (früher Atomgewicht, Molekulargewicht) .....	42
4.1.4	Zusammensetzung von Mischphasen .....	43
4.1.5	Massenanteil $w$ (früher Gewichtsprozent) .....	43
4.1.6	Stoffmengenanteil $x$ (früher Molprozent) .....	43
4.1.7	Volumenanteil $\psi$ (früher Volumprozent) .....	44
4.1.8	Massenkonzentration $\rho^*$ (früher Konzentration und Gewichts-Volumprozent) .....	44
4.1.9	Stoffmengenkonzentration $c$ (früher molare Konzentration) .....	44
4.1.10	Äquivalentkonzentration $c(1/zX)$ (früher Valkonzentration) .....	44
4.1.11	Volumenkonzentration $\sigma$ (früher Volumprozent) .....	45
4.1.12	Molalität $b$ (früher Mol-Gewichtsprozent) .....	45
4.1.13	Titer $t$ .....	45
4.2	Umrechnung von deutschen Härtegraden in andere Maßeinheiten .....	46
4.3	Umrechnung amerikanischer, englischer und französischer Härtegrade .....	49
<b>5</b>	<b>Grundgesetze der allgemeinen Chemie (Auswahl) .....</b>	<b>51</b>
5.1	Gesetze der Stöchiometrie .....	51
5.2	Beispiele stöchiometrischer Berechnungen .....	52
5.3	Massenwirkungsgesetz .....	55
5.3.1	Grundlagen .....	55
5.3.2	Prinzip des kleinsten Zwanges von Le Chatelier und Braun .....	58
5.4	Reaktionsgeschwindigkeit und chemisches Gleichgewicht .....	58
<b>6</b>	<b>Typen anorganischer Reaktionen .....</b>	<b>63</b>
6.1	Säure-/Base-Gleichgewicht .....	63
6.1.1	Stärke von Säuren und Basen .....	64
6.2	Redoxvorgänge .....	66
6.2.1	Stärke von Oxidations- und Reduktionsmitteln .....	68
6.2.2	Beispiele für Redoxreaktionen in der Wasserchemie .....	70
<b>7</b>	<b>Definition wichtiger wasserchemischer Begriffe .....</b>	<b>71</b>
7.1	pH-Wert .....	71
7.2	Puffersysteme .....	73
7.3	Osmotischer Druck .....	74
7.4	Elektrolytische Dissoziation .....	75

<b>8 Wasserchemische Berechnungen</b> .....	79
8.1 System Kohlenstoffdioxid – Wasser – Calcium .....	79
8.1.1 Berechnung des anorganisch gebundenen Kohlenstoffs ...	79
8.1.2 Ermittlung des pH-Wertes mittels $K_S(4,3)_r$ .....	83
8.1.3 Berechnung der Stoffmengenkonzentration an $c(CO_2)$ ...	84
8.1.4 Berechnung der Stoffmengenkonzentration an $c(HCO_3^-)$ ...	85
8.1.5 Berechnung der Stoffmengenkonzentration an $c(CO_3^{2-})$ ...	86
8.2 Wasserhärte .....	89
8.3 Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht .....	89
8.3.1 Allgemeine Theorie .....	90
8.3.2 Rechenverfahren C 10-R 2 nach DIN 38404 Teil 10, Ausgabe 04. 1995 .....	91
8.3.3 Rechenverfahren C 10-R 3 nach DIN 38404, Teil 10, Ausgabe 01. 1995 .....	98
8.4 Prüfung der Ladungsbilanz einer Trinkwasseranalyse .....	107
<b>9 Verfahren der Wasseraufbereitung</b> .....	109
9.1 Mechanische Aufbereitungsverfahren .....	109
9.2 Physikalische Aufbereitungsverfahren .....	110
<b>10 Filtrationsverfahren</b> .....	111
10.1 Filtration über chemisch inerte Materialien .....	111
10.2 Praktische Hinweise zur Filtration über körnige Materialien .....	114
10.2.1 Filtrationsarten .....	115
10.2.2 Betriebs- und Dimensionierungsgruppen .....	115
10.2.3 Wahl der Korngrößenverteilung .....	116
10.2.4 Schmutzaufnahmevermögen .....	117
10.2.5 Filterrückspülung .....	117
10.2.6 Mehrschichtfiltration .....	121
10.2.7 Freibordhöhe .....	121
10.3 Aufbau einer Monoschicht-Kiesfilteranlage .....	124
10.4 Membranfiltration bei der Trinkwasseraufbereitung .....	124
10.4.1 Umkehrosmose .....	127
10.4.2 Nanofiltration .....	128
10.4.3 Mikrofiltration .....	129
10.4.4 Ultrafiltration .....	129
<b>11 Chemische Aufbereitungsverfahren</b> .....	135
11.1 Enteisenungs- und Entmanganungsverfahren .....	136
11.1.1 Entstehen von Eisen- und Manganverbindungen im Wasser .....	136
11.1.2 Gründe für die Enteisenung und Entmanganung .....	138
11.1.3 Chemische Enteisenung .....	138
11.1.4 Chemische Entmanganung .....	141

11.1.5	Biologische Vorgänge bei der Enteisenung und Entmanganung . . . . .	142
11.1.6	Empfehlungen zur Verfahrenswahl und zur Dimensionierung von Enteisenungs- und Entmanganungsanlagen . . . . .	143
11.2	Entsäuerungsverfahren . . . . .	145
11.2.1	Entsäuerung durch physikalische Verfahren . . . . .	145
11.2.2	Entsäuerung durch Filtration über alkalische Filtermedien	145
11.2.3	Entsäuerung durch Neutralisation mit Laugen . . . . .	147
11.3	Entcarbonisierungsverfahren . . . . .	148
11.3.1	Entcarbonisierung durch Säureimpfung . . . . .	148
11.3.2	Kalkentcarbonisierung . . . . .	150
11.4	Flockung . . . . .	161
11.4.1	Flockungsmittel (FLOMI) . . . . .	164
11.4.2	Flockungshilfsmittel (FLOHIMI) . . . . .	166
11.4.3	Verfahrenstechnik der Flockung . . . . .	168
11.5	Ionenaustausch . . . . .	170
11.5.1	Skelettsstruktur von Ionenaustauschharzen . . . . .	175
11.5.2	Gleichgewicht . . . . .	178
11.5.3	Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	190
11.5.4	Regenerationsarten . . . . .	196
11.5.5	Kurztaktverfahren . . . . .	204
11.5.6	Kontinuierliche Ionenaustauschverfahren . . . . .	206
11.5.7	Mischbettfilter . . . . .	207
11.6	Behälterhydraulik . . . . .	208
11.6.1	Wasser- bzw. Chemikalienverteilung . . . . .	208
11.6.2	Toträume zwischen Düsen- und Abschlussboden . . . . .	211
11.6.3	Harztransport . . . . .	212
11.7	Entcarbonisierung mit schwach sauren Kationenaustauschharzen . . . . .	212
11.8	Enthärtungsverfahren . . . . .	216
11.8.1	Fällungsenthärtung . . . . .	217
11.8.2	Enthärtung durch Ionenaustausch . . . . .	217
11.9	Vollentsalzung durch Ionenaustausch . . . . .	219
11.10	Kondensatreinigungsanlagen . . . . .	233
11.10.1	Mechanische Filtration . . . . .	234
11.10.2	Chemische Aufbereitung . . . . .	236
11.11	Dekontaminierung radioaktiv verseuchter Wässer . . . . .	238
12	<b>Meerwasserentsalzungsanlagen</b> . . . . .	241
12.1	Elektrodialyse . . . . .	241
12.2	Umgekehrte Osmose . . . . .	242
12.2.1	Vorreinigungsanlage . . . . .	243
12.2.2	Umkehrrosmoseanlage . . . . .	244
12.3	Mehrstufige Entspannungsverdampfung . . . . .	245

<b>13 Desinfektion</b> .....	247
13.1 Langsamfiltration .....	248
13.2 Thermische Desinfektion .....	249
13.3 Chlorung .....	249
13.3.1 Hypochlorite .....	251
13.3.2 Chlorgas ( $\text{Cl}_2$ ) .....	251
13.3.3 Chlordioxid ( $\text{ClO}_2$ ) .....	252
13.3.4 Chlorelektolyse .....	253
13.4 Ozonisierung .....	253
13.5 UV-Strahlen .....	254
13.6 Silberungsverfahren (Oligodynamie) .....	255
13.7 Wasserstoffperoxid .....	255
<b>14 Maßnahmen zur Verringerung der Nitrationenkonzentration im Trinkwasser</b> .....	257
14.1 Ursachen der erhöhten Nitrationenbelastung des Grundwassers .....	258
14.2 Denitrifikation im Grundwasserleiter .....	259
14.3 Technische Reduktion der Nitrationenkonzentration in Trinkwasser .....	260
14.3.1 Wasserwirtschaftliche Maßnahmen .....	260
14.3.2 Physikalische Verfahren .....	260
14.3.3 Chemische Verfahren .....	261
14.3.4 Technische biochemische Verfahren .....	264
14.3.5 Diskussion einiger Fließbilder verschiedener Anlagenhersteller .....	267
<b>15 Schwimmbadwasseraufbereitung</b> .....	271
15.1 Desinfektion .....	271
15.2 Filtration .....	271
15.3 Wassererneuerung .....	272
<b>16 Korrosion in Trinkwassersystemen</b> .....	273
16.1 Einführung .....	273
16.2 Korrosionstypen .....	279
16.2.1 Wasserstoffkorrosionstyp .....	279
16.2.2 Sauerstoffkorrosionstyp .....	279
16.2.3 Sauerstoff-Konzentrationselement .....	280
16.2.4 Schmutzteilchen-Korrosionstyp .....	281
16.3 Korrosionsformen .....	281
16.4 Instationäre Korrosion .....	281
16.5 Erhöhte Korrosion in Warmwassersystemen .....	283

<b>17 Werkstoffe in der Trinkwasserversorgung</b> .....	285
17.1 Stahl .....	285
17.2 Duktile Gusseisen .....	286
17.3 Kunststoffe .....	287
17.4 Asbestzement .....	288
17.5 Beton .....	288
17.6 Verzinkter Stahl .....	288
17.7 Kupfer .....	289
17.8 Kupferhaltige Werkstoffe .....	291
17.9 Kennwerte für Trinkwasser bei Einsatz verschiedener Werkstoffe ..	291
17.10 Kontaktkorrosion .....	292
<b>18 Korrosionsschutz in Trinkwasserversorgungssystemen</b> .....	295
18.1 Natürliche Schutzschichten .....	295
18.2 Künstliche Schutzüberzüge .....	296
18.3 Korrosionsinhibitoren .....	296
<b>19 Härtestabilisierung</b> .....	297
<b>20 Kathodischer Schutz</b> .....	299
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	303
<b>Anhang: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung 2001</b> ..	305
<b>Sachverzeichnis</b> .....	337