

Stefan Wilhelm

Wasseraufbereitung

Chemie und chemische Verfahrenstechnik

7., aktualisierte und ergänzte Auflage

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine chemische Grundlagen	1
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
2	Atomarer Aufbau der Materie	7
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
3	Chemische Bindung	29
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
4	SI-Einheiten der Wasserchemie	41
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 ψ (früher Volumprozent)	44
4.1.8	Massenkonzentration ρ^* (früher Konzentration und Gewichts-Volumprozent)	44
4.1.9	Stoffmengenkonzentration c (früher molare Konzentration)	44
4.1.10	Äquivalentkonzentration $c(1/zX)$ (früher Valenzkonzentration)	44
4.1.11	Volumenkonzentration σ (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
5	Grundgesetze der allgemeinen Chemie (Auswahl)	51
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
6	Typen anorganischer Reaktionen	63
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
7	Definition wichtiger wasserchemischer Begriffe	71
7.1	pH-Wert	71
7.2	Puffersysteme	73
7.3	Osmotischer Druck	74
7.4	Elektrolytische Dissoziation	75

8	Wasserchemische Berechnungen	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 $c(\text{CO}_2)$...	84
8.1.4	Berechnung der Stoffmengenkonzentration an $c(\text{HCO}_3^-)$..	85
8.1.5	Berechnung der Stoffmengenkonzentration an $c(\text{CO}_3^{2-})$..	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
9	Verfahren der Wasseraufbereitung	109
9.1	Mechanische Aufbereitungsverfahren	109
9.2	Physikalische Aufbereitungsverfahren	110
10	Filtrationsverfahren	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
11	Chemische Aufbereitungsverfahren	135
11.1	Enteisungs- und Entmanganungsverfahren	136
11.1.1	Entstehen von Eisen- und Manganverbindungen im Wasser	136
11.1.2	Gründe für die Enteisung und Entmanganung	138
11.1.3	Chemische Enteisung	138
11.1.4	Chemische Entmanganung	141

11.1.5	Biologische Vorgänge bei der Enteisung und Entmanganung	142
11.1.6	Empfehlungen zur Verfahrenswahl und zur Dimensionierung von Enteisungs- 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	Skelettstruktur 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	Meerwasserentsalzungsanlagen	241
12.1	Elektrodialyse	241
12.2	Umgekehrte Osmose	242
12.2.1	Vorreinigungsanlage	243
12.2.2	Umkehrosmoseanlage	244
12.3	Mehrstufige Entspannungsverdampfung	245

13	Desinfektion	247
13.1	Langsamfiltration	248
13.2	Thermische Desinfektion	249
13.3	Chlorung	249
13.3.1	Hypochlorite	251
13.3.2	Chlorgas (Cl_2)	251
13.3.3	Chlordioxid (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
14	Maßnahmen zur Verringerung der Nitrationskonzentration im Trinkwasser	257
14.1	Ursachen der erhöhten Nitrationsbelastung des Grundwassers	258
14.2	Denitrifikation im Grundwasserleiter	259
14.3	Technische Reduktion der Nitrationskonzentration 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
15	Schwimmbadwasseraufbereitung	271
15.1	Desinfektion	271
15.2	Filtration	271
15.3	Wassererneuerung	272
16	Korrosion in Trinkwassersystemen	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

17	Werkstoffe in der Trinkwasserversorgung	285
17.1	Stahl	285
17.2	Duktiles 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
18	Korrosionsschutz in Trinkwasserversorgungssystemen	295
18.1	Natürliche Schutzschichten	295
18.2	Künstliche Schutzüberzüge	296
18.3	Korrosionsinhibitoren	296
19	Härtestabilisierung	297
20	Kathodischer Schutz	299
	Literaturverzeichnis	303
	Anhang: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung 2001	305
	Sachverzeichnis	337