

# AQUATISCHE CHEMIE

Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen  
und natürlicher Gewässer

Laura SIGG

*Professorin, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
(ETH, EAWAG)*

Werner STUMM

*Professor em., Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
(ETH, EAWAG)*



Verlag der Fachvereine Zürich



B. G. Teubner Verlag Stuttgart

# Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	XI
KAPITEL 1	Die chemische Zusammensetzung natürlicher Gewässer	1
	1.1 Einleitung	1
	1.2 Verwitterungsprozesse	3
	1.3 Wechselwirkungen zwischen Organismen und Wasser	4
	1.4 Das Puffersystem natürlicher Gewässer	6
	1.5 Wasser und seine einzigartigen Eigenschaften	13
	1.6 Eine kurze Übersicht über die hydrogeochemischen Kreisläufe	15
	Literatur	26
	Appendix	28
	Übungsaufgaben	34
KAPITEL 2	Säuren und Basen	35
	2.1 Einleitung	35
	2.2 Säure-Base-Theorie	36
	2.3 Die Stärke einer Säure oder Base	39
	2.4 "Zusammengesetzte" Aciditätskonstante	41
	2.5 Gleichgewichtsrechnungen	43
	2.6 pH als Mastervariable	
	Doppelt-logarithmische graphische Auftragung zur Darstellung und Lösung von Gleichgewichtsproblemen	51
	2.7 Konzentrationen der einzelnen Spezies als Funktion des pH	63
	2.8 Säure-Base-Titrationskurven	65
	2.9 Säure- und Basen-Neutralisierungskapazität	69
	2.10 pH- und Aktivitätskonventionen	70
	2.11 Saure atmosphärische Niederschläge	76
	Weitergehende Literatur	81
	Übungsaufgaben	82

KAPITEL 3	Carbonat-Gleichgewichte	85
	3.1 Einleitung	85
	3.2 Das offene System – Wasser im Gleichgewicht mit dem $\text{CO}_2$ der Gasphase	86
	3.3 Die Auflösung von $\text{CaCO}_3$ (Calcit) im offenen System	93
	3.4 Das “geschlossene Carbonatsystem”	98
	3.5 Alkalinität und Acidität	104
	3.6 Grundwasser	110
	3.7 Analytische Bestimmung der Alkalinität und der Acidität	112
	3.8 Bestimmung der Acidität	116
	3.9 Die Pufferintensität des Carbonatsystems	119
	Weitergehende Literatur	123
	Übungsaufgaben	124
KAPITEL 4	Wechselwirkung Wasser – Atmosphäre	127
	4.1 Einleitung	127
	4.2 Einfache Gas/Wassergleichgewichte; Bedeutung in der Chemie des Wolkenwassers, des Regens und des Nebelwassers	130
	4.3 Die Genese eines Nebeltröpfchens	149
	4.4 Aerosole	154
	4.5 Saure Traufe – Saure Seen	157
	Weitergehende Literatur	160
	Übungsaufgaben	161
KAPITEL 5	Zur Anwendung thermodynamischer Daten und der Kinetik	163
	5.1 Thermodynamische Daten – Einleitung	163
	5.2 Freie Reaktionsenthalpie, chemisches Potential und chemisches Gleichgewicht	163
	5.3 Umrechnung von Gleichgewichtskonstanten auf andere Temperaturen und Drucke	170
	5.4 Kinetik – Einleitung	172
	5.5 Die Reaktionsgeschwindigkeit	175
	5.6 Elementarreaktionen	178

5.7	Theorie des Übergangszustandes; der aktivierte Komplex	186
5.8	Fallbeispiel: Die Hydratisierung des $\text{CO}_2$	189
5.9	Fallbeispiel: Kinetik der Absorption von $\text{CO}_2$ ; Gas-Transfer Atmosphäre – Wasser	192
	Weitergehende Literatur	197
	Übungsaufgaben	198
	Appendix	200
KAPITEL 6	Metallionen in wässriger Lösung	211
6.1	Einleitung	211
6.2	Koordinationschemie und ihre Bedeutung für die Speziierung der Metallionen in natürlichen Gewässern	212
6.3	Einfache Modelle der Speziierung von Metallen in natürlichen Gewässern	228
6.4	Metallpuffer und Wirkungen auf Organismen	237
6.5	Kinetik der Komplexbildung	239
6.6	Speziierung und analytische Bestimmung	243
	Weitergehende Literatur	245
	Übungsaufgaben	246
KAPITEL 7	Fällung und Auflösung fester Phasen	249
7.1	Einleitung Fällung und Auflösung fester Phasen als Mechanismus zur Regulierung der Zusammen- setzung natürlicher Gewässer	249
7.2	Löslichkeitsgleichgewichte von Hydroxiden und Carbonaten; Einfluss der Komplexbildung, pH- Abhängigkeit	252
7.3	Löslichkeit von $\text{SiO}_2$ und Silikaten	264
7.4	Welche feste Phase kontrolliert die Löslichkeit?	266
7.5	Sind feste Phasen im Löslichkeitsgleichgewicht?	278
7.6	Kinetik der Nukleierung und Auflösung einer festen Phase: Beispiel Calciumcarbonat	281
	Weitergehende Literatur	288
	Übungsaufgaben	289

KAPITEL 8	Redox-Prozesse	291
8.1	Einleitung	291
8.2	Definitionen – Oxidation und Reduktion	292
8.3	Der globale Elektronenkreislauf (Photosynthese, Respiration)	294
8.4	Redox-Gleichgewichte und Redox-Intensität	297
8.5	Einfache Berechnungen von Redoxgleichgewichten	303
8.6	Durch Mikroorganismen katalysierte Redoxprozesse	318
8.7	Kinetik von Redoxprozessen	323
8.8	Oxidation durch Sauerstoff	333
8.9	Photochemische Redox-Prozesse	340
8.10	Die Messung des Redox-Potential in natürlichen Gewässern	349
8.11	Glaselektrode; ionenselektive Elektroden	355
	Weitergehende Literatur	358
	Übungsaufgaben	359
KAPITEL 9	Grenzflächenchemie	363
9.1	Einleitung	363
9.2	Wechselwirkungen an der Grenzfläche Fest-Wasser	364
9.3	Adsorption aus der Lösung	366
9.4	Partikel in natürlichen Gewässern	370
9.5	Oxidoberflächen: Säure-Base-Reaktionen, Wechselwirkung mit Kationen und Anionen	372
9.6	Elektrische Ladung auf Oberflächen	379
9.7	Oberflächenchemie und Reaktivität; Kinetik der Auflösung	385
9.8	Tonmineralien; Ionenaustausch	398
9.9	Kolloidstabilität	405
9.10	Sorption hydrophober Verbindungen	409
	Weitergehende Literatur	412
	Übungsaufgaben	413

KAPITEL 10	Wassertechnologie; Anwendung oberflächenchemischer Prozesse	415
	10.1 Einleitung	415
	10.2 Flockung, Koagulation	416
	10.3 Filtration	428
	10.4 Flotation	432
	10.5 Aktivkohleadsorption	433
	10.6 Korrosion der Metalle als elektrochemischer Prozess	435
	Weitergehende Literatur	441
	Übungsaufgaben	442
KAPITEL 11	Einige biogeochemische Anwendungen	445
	11.1 Einleitung	
	Verteilung von Stoffen in der Umwelt	445
	11.2 Kohlenstoffkreislauf in den Gewässern	448
	11.3 Stickstoffkreisläufe; Belastung der Umwelt durch Stickstoffverbindungen	455
	11.4 Seeneutrophierung und Redoxreihe im Hypolimnion von Seen	462
	11.5 Regulierung der Konzentration von Schwer- metallen in Gewässern	467
	11.6 Transport adsorbierbarer Substanzen in Grund- wasser und Bodensystemen	476
	Weitergehende Literatur	481
	Übungsaufgaben	482
	Lösungen zu den numerischen Übungs- aufgaben	485
	Index	489