

**Roland Benedix**

# **Bauchemie**

## **Einführung in die Chemie für Bauingenieure**

2., überarbeitete Auflage 2003



**Teubner**

B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Allgemein-chemische Grundlagen</b>	<b>1</b>
1.1	Stoffe	1
1.1.1	Gemische und reine Stoffe	1
1.1.2	Elemente und chemische Verbindungen	5
1.2	Massen- und Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen	7
1.2.1	Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen	7
1.2.2	Volumenverhältnisse - Satz von Avogadro	9
1.2.3	Allgemeine Zustandsgleichung der Gase	9
1.2.4	Atom- und Molekülmasse	11
1.2.5	Stoffmenge - Mol	12
1.2.6	Konzentrationsmaße	13
1.2.7	Stöchiometrische Berechnungen	20
<b>2</b>	<b>Atombau und Periodensystem der Elemente</b>	<b>23</b>
2.1	Bau der Atome	23
2.1.1	Bestandteile des Atoms - Isotope - Radioaktivität	23
2.1.2	Aufbau der Elektronenhülle	30
2.1.2.1	Bohrsches Atommodell	30
2.1.2.2	Orbitalbild der Elektronen	34
2.2	Periodensystem der Elemente	40
2.2.1	Ordnungsprinzip der Elemente	40
2.2.2	Periodizität wichtiger Eigenschaften	42
<b>3</b>	<b>Chemische Bindung</b>	<b>47</b>
3.1	Ionenbindung (Heteropolare Bindung)	47
3.1.1	Ausbildung von Ionen	47
3.1.2	Wechselwirkung zwischen den Ionen - Gitterenergie	48
3.1.3	Eigenschaften von Ionenverbindungen	49
3.2	Atombindung (Kovalente Bindung)	50
3.2.1	Elektronenpaarbindung - Modell von Lewis	50
3.2.2	Räumliche Struktur der Moleküle (I): VSEPR-Modell	52
3.2.3	Überlappung von Orbitalen	54
3.2.4	Räumliche Struktur der Moleküle (II): Hybridisierungsmodell	56
3.2.5	MO-Beschreibung der chemischen Bindung	59
3.2.6	Polarität einer Bindung - Elektronegativität	62
3.3	Metallbindung	65
3.3.1	Eigenschaften von Metallen - Metallischer Zustand	65
3.3.2	Elektronengasmodell	66
3.3.3	Energiebändermodell	67
3.4	Intermolekulare Bindungskräfte	70
3.5	Fester Zustand	72
3.5.1	Struktur kristalliner Festkörper	72
3.5.2	Struktur der Metalle	74
3.5.3	Struktur ionischer Festkörper	76
3.5.4	Legierungen	78

<b>4</b>	<b>Die chemische Reaktion</b> .....	82
4.1	Stöchiometrie chemischer Reaktionen .....	82
4.2	Energiebilanz chemischer Reaktionen .....	83
4.2.1	Reaktionsenthalpie .....	83
4.2.2	Bildungsenthalpie - Berechnung von Reaktionsenthalpien .....	87
4.2.3	Satz von Hess .....	89
4.2.4	Triebkraft chemischer Reaktionen - Freie Enthalpie .....	90
4.3	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen .....	91
4.3.1	Allgemeine Betrachtungen .....	91
4.3.2	Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit .....	92
4.3.3	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit .....	92
4.4	Katalyse .....	96
4.5	Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz .....	98
4.5.1	Zustand des chemischen Gleichgewichts. ....	98
4.5.2	Massenwirkungsgesetz. ....	99
4.5.3	Beeinflussung der Lage des chemischen Gleichgewichts. ....	101
4.5.4	Heterogene Gleichgewichte. ....	102
<b>5</b>	<b>Chemie der Luft</b> .....	104
5.1	Zusammensetzung der Luft .....	104
5.2	Physikalisch-chemische Eigenschaften der Luft .....	106
5.3	Löslichkeit von Gasen .....	107
5.4	Natürliche Luftinhaltsstoffe .....	110
5.4.1	Stickstoff .....	110
5.4.2	Sauerstoff .....	113
5.4.2.1	Disauerstoff .....	113
5.4.2.2	Ozon .....	114
5.4.3	Kohlendioxid .....	120
5.5	Luftschadstoffe .....	126
5.5.1	Schwefeldioxid .....	126
5.5.2	Stickoxide .....	128
5.5.3	Schadwirkungen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung .....	130
<b>6</b>	<b>Chemie des Wassers</b> .....	134
6.1	Wasser - Vorkommen und Bedeutung .....	134
6.2	Struktur und Eigenschaften des Wassers. ....	135
6.2.1	Molekülstruktur und Dipoleigenschaften .....	135
6.2.2	Anomalien des Wassers .....	137
6.2.2.1	Dichteanomalie .....	138
6.2.2.2	Oberflächenspannung und Kapillarität .....	139
6.2.2.3	Viskosität .....	143
6.2.2.4	Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität .....	144
6.2.3	Dampfdruck .....	144
6.2.3.1	Dampfdruck reiner Flüssigkeiten, Phasendiagramme .....	144
6.2.3.2	Kolligative Eigenschaften von Lösungen .....	148
6.3	Lösung und Löslichkeit .....	152
6.3.1	Hydratation und Lösungsvorgang .....	152
6.3.2	Einteilung von Lösungen nach ihrem Dispersionsgrad .....	156
6.3.3	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt .....	159
6.4	Wasser und Wasserinhaltsstoffe .....	166

6.4.1	Härte des Wassers . . . . .	166
6.4.2	Trinkwasser . . . . .	169
6.4.3	Wasser im Bauwesen . . . . .	171
6.5	Chemische Reaktionen in Lösung . . . . .	172
6.5.1	Komplexreaktionen . . . . .	172
6.5.1.1	Hydratation als Komplexbildung - Aufbau der Komplexe . . . . .	172
6.5.1.2	Analytische Bedeutung von Komplexverbindungen . . . . .	175
6.5.2	Elektrolyte in Lösung . . . . .	176
6.5.2.1	Elektrolytische Dissoziation, Leitfähigkeit von Elektrolytlösungen . . . . .	176
6.5.2.2	Starke und schwache Elektrolyte, Dissoziationsgrad . . . . .	178
6.5.3	Säure-Base-Reaktionen . . . . .	180
6.5.3.1	Der Säure-Base-Begriff . . . . .	180
6.5.3.2	Autoprotolyse des Wassers . . . . .	184
6.5.3.3	pH-Wert . . . . .	185
6.5.3.4	Stärke von Säuren und Basen . . . . .	190
6.5.3.5	Protolyse von Salzen . . . . .	194
6.5.3.6	Berechnung des pH-Wertes . . . . .	195
6.5.3.7	Pufferlösungen . . . . .	197
6.5.3.8	Technisch und bauchemisch wichtige Säuren und Basen . . . . .	199
6.5.4	Redoxreaktionen - Elektronenübertragung in Lösung . . . . .	201
6.5.4.1	Oxidation - Reduktion . . . . .	201
6.5.4.2	Aufstellen von Redoxgleichungen . . . . .	203
6.5.4.3	Redoxvermögen der Metalle - Galvanische Elemente . . . . .	207
6.5.4.4	Standardelektrodenpotentiale - Spannungsreihe . . . . .	210
6.5.4.5	Folgerungen aus der Spannungsreihe . . . . .	213
6.5.4.6	Nernstsche Gleichung . . . . .	215
6.5.4.7	Elektrochemische Stromerzeugung . . . . .	218
6.5.4.8	Redoxreaktionen in nichtwässrigem Milieu . . . . .	220
6.5.4.9	Elektrolyse . . . . .	221
<b>7</b>	<b>Chemie der Baumetalle . . . . .</b>	<b>224</b>
7.1	Eisen und Stahl . . . . .	224
7.1.1	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eisens . . . . .	224
7.1.2	Produkte des Hochofenprozesses . . . . .	226
7.1.3	Stahl . . . . .	227
7.2	Korrosion von Metallen . . . . .	230
7.2.1	Wesen der metallischen Korrosion . . . . .	231
7.2.2	Rosten von Eisen . . . . .	233
7.2.3	Kontaktkorrosion . . . . .	237
7.2.4	Korrosion von Stahl . . . . .	239
7.2.5	Erscheinungsformen der Korrosion . . . . .	240
7.2.6	Korrosionsschutz . . . . .	243
7.2.6.1	Passiver Korrosionsschutz . . . . .	244
7.2.6.2	Aktiver Korrosionsschutz . . . . .	249
7.3	Nichteisenmetalle - Eigenschaften und Korrosionsverhalten . . . . .	252
7.3.1	Aluminium . . . . .	252
7.3.2	Kupfer . . . . .	254
7.3.3	Zink . . . . .	256
7.3.4	Blei . . . . .	258
7.3.5	Chrom . . . . .	259

<b>8</b>	<b>Chemie nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe</b> .....	261
8.1	Minerale und Gesteine .....	261
8.1.1	Gesteinsbildende Minerale .....	261
8.1.2	Gesteine .....	263
8.1.2.1	Magmatische Gesteine .....	263
8.1.2.2	Sedimentgesteine .....	264
8.1.2.3	Metamorphe Gesteine .....	266
8.2	Chemie der Silicate und siliciumorganischen Verbindungen .....	267
8.2.1	Siliciumdioxid .....	267
8.2.2	Kieselsäuren .....	268
8.2.3	Silicate .....	270
8.2.3.1	Alkalimetallsilicate, Einteilung natürlicher Silicate .....	270
8.2.3.2	Technische Silicate (Künstliche Silicate) .....	278
8.2.3.2.1	Gläser .....	278
8.2.3.2.2	Tone und Tonkeramik .....	284
8.2.4	Siliciumorganische Verbindungen .....	288
8.3	Anorganische Bindemittel und ihre Erhärtungsreaktionen .....	292
8.3.1	Baukalke .....	293
8.3.1.1	Luftkalke .....	293
8.3.1.2	Hydraulische Kalke .....	296
8.3.2	Zemente .....	297
8.3.2.1	Rohstoffe und Herstellung von Portlandzement .....	297
8.3.2.2	Zusammensetzung und Eigenschaften des Portlandzements .....	299
8.3.2.3	Reaktion des Zements mit Wasser .....	303
8.3.2.3.1	Hydratation der Klinkerphasen .....	303
8.3.2.3.2	Hydratationswärme .....	309
8.3.2.4	Aufbau und Eigenschaften des Zementsteins .....	310
8.3.2.5	Betonzusätze .....	314
8.3.2.5.1	Zusatzmittel .....	314
8.3.2.5.2	Zusatzstoffe .....	319
8.3.2.6	Zementarten, Spezialzemente .....	321
8.3.3	Gipse und Anhydrite .....	324
8.3.3.1	Vorkommen, Darstellung, Verwendung und Eigenschaften .....	324
8.3.3.2	Erhärtungsprozeß .....	326
8.3.3.3	Bindemittel auf der Basis von $\text{CaSO}_4$ .....	328
8.3.4	Magnesiabinder .....	329
8.3.5	Kalksandsandsteine und Porenbetone .....	330
8.4	Korrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe .....	330
8.4.1	Korrosivé Medien .....	330
8.4.2	Korrosion zementgebundener Baustoffe .....	332
8.4.2.1	Lösender Angriff .....	332
8.4.2.2	Treibender Angriff .....	335
8.4.2.3	Korrosiver Angriff auf die Bewehrung .....	342
8.4.2.3.1	Carbonatisierung des Betons .....	342
8.4.2.3.2	Chloridangriff .....	344
8.4.3	Salzablagerungen auf Bauwerksoberflächen (Ausblühungen) .....	345
8.4.4	Maßnahmen zum Korrosionsschutz (Bautenschutz) .....	349
<b>9</b>	<b>Chemie organischer Stoffe im Bauwesen</b> .....	351
9.1	Grundklassen organischer Verbindungen .....	351

9.1.1	Kohlenwasserstoffe	351
9.1.2	Halogenalkane	362
9.1.3	Alkohole und Phenole	364
9.1.4	Ether	367
9.1.5	Aldehyde und Ketone	368
9.1.6	Carbonsäuren und Ester	370
9.1.7	Fette und Öle	375
9.1.8	Heterocyclische Verbindungen	376
9.2	Organische Lösungs- und Verdünnungsmittel	377
9.3	Bitumen, Teerpeche und Asphalte	380
9.3.1	Bitumen und Teerpeche	380
9.3.2	Asphalte	385
9.4	Kunststoffe	385
9.4.1	Allgemeine Eigenschaften	385
9.4.2	Aufbau und Struktur	389
9.4.3	Einteilung nach thermischen und mechanischen Eigenschaften	390
9.4.3.1	Thermoplaste (Plastomere)	390
9.4.3.2	Elastomere	393
9.4.3.3	Duroplaste (Duromere)	395
9.4.3.4	Hilfs-, Füll- und Verstärkungsstoffe in Polymeren	395
9.4.4	Einteilung der Kunststoffe nach ihrer Bildungsreaktion	397
9.4.4.1	Polymerisationskunststoffe (Polymerisate)	397
9.4.4.2	Polykondensationskunststoffe (Polykondensate)	409
9.4.4.3	Polyadditionskunststoffe (Polyaddukte)	415
9.4.5	Kunststoffdispersionen	418
9.4.6	Kunststoff und Beton	420
9.4.6.1	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone	420
9.4.6.2	Polymermörtel und -betone	421
9.4.7	Alterung von Kunststoffen	424
9.4.8	Klebstoffe und Kitte	427
9.5	Holz und Holzschutz	431
9.5.1	Aufbau und Zusammensetzung des Holzes	431
9.5.2	Holzschutz	433
9.5.3	Holzschutzmittel	435
<b>Anhang 1</b>	<b>Elemente, Symbole; Atommassen</b>	<b>440</b>
<b>Anhang 2</b>	<b>Molare Bildungsenthalpien ausgewählter Verbindungen</b>	<b>441</b>
<b>Anhang 3</b>	<b>Löslichkeiten einiger Salze</b>	<b>442</b>
<b>Anhang 4</b>	<b>Stärke von Säuren und Basen</b>	<b>443</b>
<b>Anhang 5</b>	<b>Elektrochemische Spannungsreihe</b>	<b>444</b>
<b>Anhang 6</b>	<b>Die 14 Bravais-Gitter</b>	<b>445</b>
<b>Anhang 7</b>	<b>Relative Molekülmassen bauchemisch wichtiger Verbindungen; Fundamental- konstanten</b>	<b>446</b>
<b>Literatur</b>		<b>447</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>		<b>451</b>