

# Chemie für Bauingenieure

Von Prof. Dr. rer. nat. habil. Roland Benedix  
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH)



B. G. Teubner Stuttgart • Leipzig 1999

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Allgemein-chemische Grundlagen</b>	<b>11</b>
1.1	Stoffe	11
1.1.1	Gemische und reine Stoffe	11
1.1.2	Elemente und chemische Verbindungen	15
1.2	Massen- und Volumenverhältnisse bei chemischen Reaktionen	17
1.2.1	Massenverhältnisse bei chemischen Reaktionen	17
1.2.2	Volumenverhältnisse - Satz von Avogadro	19
1.2.3	Allgemeine Zustandsgleichung der Gase	19
1.2.4	Atom- und Molekülmasse	21
1.2.5	Stoßmenge - Mol	22
1.2.6	Konzentrationsmaße	23
1.2.7	Stöchiometrische Berechnungen	30
<b>2</b>	<b>Atombau und Periodensystem der Elemente</b>	<b>33</b>
2.1	Bau der Atome	33
2.1.1	Bestandteile des Atoms - Isotope - Radioaktivität	33
2.1.2	Aufbau der Elektronenhülle	40
2.1.2.1	Bohrsches Atommodell	40
2.1.2.2	Orbitalbild der Elektronen	44
2.2	Periodensystem der Elemente	50
2.2.1	Ordnungsprinzip der Elemente	50
2.2.2	Periodizität wichtiger Eigenschaften	52
<b>3</b>	<b>Chemische Bindung</b>	<b>57</b>
3 1	Ionenbindung (Heteropolare Bindung)	57
3.1.1	Ausbildung von Ionen	57
3.1.2	Wechselwirkung zwischen den Ionen - Gitterenergie	58
3.1.3	Eigenschaften von Ionenverbindungen	59
3.2	Atombindung (Kovalente Bindung)	60
3.2.1	Elektronenpaarbindung - Modell von Lewis	60
3.2.2	Räumliche Struktur der Moleküle (I): VSEPR-Modell	62
3.2.3	Überlappung von Orbitalen	64
3 2.4	Räumliche Struktur der Moleküle (II): Hybridisierungsmodell	66
3.2.5	MO-Beschreibung der chemischen Bindung	69
3.2.6	Polarität einer Bindung - Elektronegativität	72
3.3	Metallbindung	75
3.3.1	Eigenschaften von Metallen - Metallischer Zustand	75
3.3.2	Elektronengasmodell	76
3.3.3	Energiebändermodell	77
3 4	Intermolekulare Bindungskräfte	80
3.5	Fester Zustand	82
3.5.1	Struktur kristalliner Festkörper	82
3.5.2	Struktur der Metalle	84
3.5.3	Struktur ionischer Festkörper	86
3.5.4	Legierungen	88

<b>4</b>	<b>Die chemische Reaktion</b> . . . . .	92
4 1	Stöchiometrie chemischer Reaktionen . . . . .	92
4 2	Energiebilanz chemischer Reaktionen . . . . .	93
4.2.1	Reaktionsenthalpie . . . . .	93
4.2.2	Bildungsenthalpie - Berechnung von Reaktionsenthalpien . . . . .	97
4.2.3	Satz von Heß . . . . .	99
4.2.4	Triebkraft chemischer Reaktionen - Freie Enthalpie . . . . .	100
4 3	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen . . . . .	101
4.3.1	Allgemeine Betrachtungen . . . . .	101
4.3.2	Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	102
4 3.3	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	102
4 4	Katalyse . . . . .	106
4 5	Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz . . . . .	108
4.5.1	Zustand des chemischen Gleichgewichts . . . . .	108
4.5.2	Massenwirkungsgesetz . . . . .	109
4.5.3	Beeinflussung der Lage des chemischen Gleichgewichts . . . . .	111
4.5.4	Heterogene Gleichgewichte . . . . .	112
<b>5</b>	<b>Chemie der Luft</b> . . . . .	114
5.1	Zusammensetzung der Luft . . . . .	114
5 2	Physikalisch-chemische Eigenschaften der Luft . . . . .	116
5 3	Löslichkeit von Gasen . . . . .	117
5 4	Natürliche Luftinhaltsstoffe . . . . .	120
5.4.1	Stickstoff . . . . .	120
5.4.2	Sauerstoff . . . . .	123
5.4.2.1	Disauerstoff . . . . .	123
5.4.2.2	Ozon . . . . .	124
5.4.3	Kohlendioxid . . . . .	130
5.5.	Luftschadstoffe . . . . .	136
5.5.1	Schwefeldioxid . . . . .	136
5.5.2	Stickoxide . . . . .	138
5.5.3	Schadwirkungen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung . . . . .	140
<b>6</b>	<b>Chemie des Wassers</b> . . . . .	144
6.1	Wasser - Vorkommen und Bedeutung . . . . .	144
6.2	Struktur und Eigenschaften des Wassers . . . . .	145
6.2.1	Molekülstruktur und Dipoleigenschaften . . . . .	145
6.2.2	Anomalien des Wassers . . . . .	147
6.2.2.1	Dichteanomalie . . . . .	148
6.2.2.2	Oberflächenspannung und Kapillarität . . . . .	149
6.2.2.3	Viskosität . . . . .	153
6.2.2.4	Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität . . . . .	154
6 2 3	Dampfdruck . . . . .	154
6.2.3.1	Dampfdruck reiner Flüssigkeiten, Phasendiagramme . . . . .	154
6.2.3.2	Kolligative Eigenschaften von Lösungen . . . . .	158
6 3	Lösung und Löslichkeit . . . . .	162
6.3 1	Hydratation und Lösungsvorgang . . . . .	162
6.3.2	Einteilung von Lösungen nach ihrem Dispersionsgrad . . . . .	166
6.3.3	Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt . . . . .	169
6 4	Wasser und Wasserinhaltsstoffe . . . . .	176

6.4.1	Härte des Wassers. . . . .	176
6.4.2	Trinkwasser. . . . .	179
6.4.3	Wasser im Bauwesen. . . . .	181
6.5	Chemische Reaktionen in Lösung. . . . .	182
6.5.1	Komplexreaktionen. . . . .	182
6.5.1.1	Hydratation als Komplexbildung - Aufbau der Komplexe. . . . .	182
6.5.1.2	Analytische Bedeutung von Komplexverbindungen. . . . .	185
6.5.2	Elektrolyte in Lösung. . . . .	186
6.5.2.1	Elektrolytische Dissoziation, Leitfähigkeit von Elektrolytlösungen. . . . .	186
6.5.2.2	Starke und schwache Elektrolyte, Dissoziationsgrad. . . . .	188
6.5.3	Säure-Base-Reaktionen. . . . .	190
6.5.3.1	Der Säure-Base-Begriff. . . . .	190
6.5.3.2	Autoprotolyse des Wassers. . . . .	194
6.5.3.3	pH-Wert. . . . .	195
6.5.3.4	Stärke von Säuren und Basen. . . . .	200
6.5.3.5	Protolyse von Salzen. . . . .	204
6.5.3.6	Berechnung des pH-Wertes. . . . .	205
6.5.3.7	Pufferlösungen. . . . .	207
6.5.3.8	Technisch und bauchemisch wichtige Säuren und Basen. . . . .	209
6.5.4	Redoxreaktionen - Elektronenübertragung in Lösung. . . . .	211
6.5.4.1	Oxidation - Reduktion. . . . .	211
6.5.4.2	Aufstellen von Redoxgleichungen. . . . .	213
6.5.4.3	Redoxvermögen der Metalle - Galvanische Elemente. . . . .	217
6.5.4.4	Standardelektrodenpotentiale - Spannungsreihe. . . . .	220
6.5.4.5	Folgerungen aus der Spannungsreihe. . . . .	223
6.5.4.6	Nernstsche Gleichung. . . . .	225
6.5.4.7	Elektrochemische Stromerzeugung. . . . .	228
6.5.4.8	Redoxreaktionen in nichtwäßrigem Milieu. . . . .	230
6.5.4.9	Elektrolyse. . . . .	231
7	<b>Chemie der Baumetalle</b> . . . . .	234
7.1	Eisen und Stahl. . . . .	234
7.1.1	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eisens. . . . .	234
7.1.2	Produkte des Hochofenprozesses. . . . .	236
7.1.3	Stahl. . . . .	237
7.2	Korrosion von Metallen. . . . .	240
7.2.1	Wesen der metallischen Korrosion. . . . .	241
7.2.2	Rosten von Eisen. . . . .	243
7.2.3	Kontaktkorrosion. . . . .	247
7.2.4	Korrosion von Stahl. . . . .	249
7.2.5	Erscheinungsformen der Korrosion. . . . .	250
7.2.6	Korrosionsschutz. . . . .	253
7.2.6.1	Passiver Korrosionsschutz. . . . .	254
7.2.6.2	Aktiver Korrosionsschutz. . . . .	259
7.3	Nichteisenmetalle - Eigenschaften und Korrosionsverhalten. . . . .	262
7.3.1	Aluminium. . . . .	262
7.3.2	Kupfer. . . . .	264
7.3.3	Zink. . . . .	266
7.3.4	Blei. . . . .	268
7.3.5	Chrom. . . . .	269

	<b>Chemie nichtmetallischer-anorganischer Baustoffe</b> . . . . .	<b>271</b>
	Minerale und Gesteine. . . . .	271
. 1	Gesteinsbildende Minerale. . . . .	271
. 2	Gesteine. . . . .	273
1.2.1	Magmatische Gesteine. . . . .	273
1.2.2	Sedimentgesteine. . . . .	274
. 2.3	Metamorphe Gesteine. . . . .	276
8.2	Grundlagen der Silicatchemie. . . . .	277
8.2.1	Siliciumdioxid. . . . .	277
8.2.2	Kieselsäuren. . . . .	278
8.2.3	Silicate. . . . .	280
8.2.3.1	Alkalimetallsilicate, Einteilung natürlicher Silicate. . . . .	280
8.2.3.2	Technische Silicate (Künstliche Silicate). . . . .	288
8.2.3.2.1	Gläser. . . . .	289
8.2.3.2.2	Tone und Tonwaren (Keramiken). . . . .	294
8.2.4	Silicone. . . . .	298
8.3	Anorganische Bindemittel und ihre Erhärtungsreaktionen. . . . .	302
8.3.1	Baukalke. . . . .	302
8.3.2	Latent-hydraulische Stoffe und Puzzolane. . . . .	306
8.3.3	Zemente. . . . .	309
8.3.3.1	Rohstoffe und Zusammensetzung von Portlandzement. . . . .	309
8.3.3.2	Struktur und Eigenschaften der Klinkerminerale. . . . .	311
8.3.3.3	Reaktion des Zements mit Wasser (Zementhhydratation). . . . .	314
8.3.3.4	Portlandzemente mit Zusatzstoffen, Spezialzemente. . . . .	325
8.3.3.5	Betonzusatzmittel. . . . .	328
8.3.4	Baugipse und Anhydritbinder. . . . .	333
8.3.4.1	Vorkommen, Gewinnung und Eigenschaften. . . . .	333
8.3.4.2	Erhärtungsprozeß, Verwendung. . . . .	335
8.3.4.3	Bindemittel auf der Basis von $\text{CaSO}_4$ . . . . .	337
8.3.5	Magnesiabinder. . . . .	338
8.4	Korrosion nichtmetallischer Baustoffe und Bautenschutz. . . . .	340
8.4.1	Allgemeine Betrachtungen. . . . .	340
8.4.2	Korrosion von Natursteinen. . . . .	340
8.4.3	Betonkorrosion. . . . .	342
8.4.3.1	Lösender Angriff. . . . .	342
8.4.3.2	Treibender Angriff. . . . .	346
8.4.3.3	Korrosiver Angriff auf den Bewehrungsstahl. . . . .	351
8.4.3.4	Salzablagerungen auf Bauwerksoberflächen (Ausblühungen). . . . .	354
8.4.3.5	Maßnahmen zum Bautenschutz. . . . .	357
<b>9</b>	<b>Chemie organischer Stoffe im Bauwesen</b> . . . . .	<b>360</b>
9.1	Grundklassen organischer Verbindungen. . . . .	361
9.1.1	Kohlenwasserstoffe. . . . .	361
9.1.2	Halogenalkane. . . . .	372
9.1.3	Alkohole und Phenole. . . . .	374
9.1.4	Ether. . . . .	377
9.1.5	Aldehyde und Ketone. . . . .	378
9.1.6	Carbonsäuren und Ester. . . . .	380
9.1.7	Fette und Öle. . . . .	385
9.1.8	Heterocyclische Verbindungen. . . . .	386

9.2	Organische Lösungs- und Verdünnungsmittel . . . . .	387
9.3	Bitumen und bituminöse Stoffe . . . . .	390
9.4	Kunststoffe . . . . .	395
9.4.1	Allgemeine Eigenschaften . . . . .	395
9.4.2	Struktur und thermisches Verhalten . . . . .	399
9.4.3	Einteilung nach thermischen und mechanischen Eigenschaften . . . . .	400
9.4.3.1	Thermoplaste (Plastomere) . . . . .	400
9.4.3.2	Elastomere . . . . .	403
9.4.3.3	Duroplaste (Duromere) . . . . .	405
9.4.3.4	Hilfs-, Füll- und Verstärkungsstoffe in Polymeren . . . . .	405
9.4.4	Einteilung der Kunststoffe nach ihrer Bildungsreaktion . . . . .	407
9.4.4.1	Polymerisationskunststoffe (Polymerisate) . . . . .	407
9.4.4.2	Polykondensationskunststoffe (Polykondensate) . . . . .	419
9.4.4.3	Polyadditionskunststoffe (Polyaddukte) . . . . .	425
9.4.5	Kunststoffdispersionen . . . . .	428
9.4.6	Kunststoff und Beton . . . . .	430
9.4.6.1	Kunststoffmodifizierte Mörtel und Betone . . . . .	430
9.4.6.2	Polymermörtel und -betone . . . . .	431
9.4.7	Alterung von Kunststoffen . . . . .	434
9.4.8	Chemie der Beschichtungs- und Klebstoffe . . . . .	437
9.5	Holz und Holzschutz . . . . .	441
9.5.1	Aufbau und Zusammensetzung des Holzes . . . . .	441
9.5.2	Holzschutz . . . . .	443
<b>Anhang 1</b>	Elemente, Symbole, Atommassen . . . . .	450
<b>Anhang 2</b>	Molare Bildungsenthalpien ausgewählter Verbindungen . . . . .	451
<b>Anhang 3</b>	Löslichkeiten einiger Salze . . . . .	452
<b>Anhang 4</b>	Korrespondierende Säure-Base-Paare . . . . .	453
<b>Anhang 5</b>	Elektrochemische Spannungsreihe . . . . .	454
<b>Anhang 6</b>	Die 14 Bravais-Gitter . . . . .	455
<b>Anhang 7</b>	Relative Molekülmassen bauchemisch wichtiger Verbindungen; Fundamental- konstanten . . . . .	456
<b>Literatur</b>	. . . . .	457
<b>Ausgewählte Normen, Richtlinien und Vorschriften</b>	. . . . .	<b>460</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	. . . . .	<b>461</b>