

**Roland Benedix**

# **Bauchemie**

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

3., durchgesehene und aktualisierte Auflage 2005



**Teubner**

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Allgemein-chemische Grundlagen</b>	1
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	8
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	18
<b>2</b>	<b>Atombau und Periodensystem der Elemente</b>	21
2.1	Bau der Atome	21
2.1.1	Bestandteile des Atoms - Isotope - Radioaktivität	21
2.1.2	Radioaktivität von Baustoffen	26
2.1.3	Aufbau der Elektronenhülle	28
2.1.3.1	Bohrsches Atommodell	28
2.1.3.2	Orbitalbild der Elektronen	32
2.2	Periodensystem der Elemente	38
2.2.1	Ordnungsprinzip der Elemente	38
2.2.2	Periodizität wichtiger Eigenschaften	40
<b>3</b>	<b>Chemische Bindung</b>	45
3.1	Ionenbindung	45
3.1.1	Ausbildung von Ionen	45
3.1.2	Wechselwirkung zwischen den Ionen - Gitterenergie	46
3.1.3	Eigenschaften von Ionenverbindungen	47
3.2	Atombindung (Kovalente Bindung)	48
3.2.1	Elektronenpaarbindung - Modell von Lewis	48
3.2.2	Überlappung von Orbitalen	50
3.2.3	Räumliche Struktur der Moleküle: Hybridisierungsmodell	51
3.2.4	Polarität einer Bindung - Elektronegativität	54
3.3	Metallbindung	58
3.3.1	Eigenschaften von Metallen - Metallischer Zustand	58
3.3.2	Elektronengasmodell	59
3.3.3	Energiebändermodell	59
3.4	Intermolekulare Bindungskräfte	62
3.5	Fester Zustand	64
3.5.1	Struktur kristalliner Festkörper	65
3.5.2	Struktur der Metalle	67
3.5.3	Struktur ionischer Festkörper	68
3.5.4	Legierungen	70
<b>4</b>	<b>Die chemische Reaktion</b>	74
4.1	Stöchiometrie chemischer Reaktionen	74
4.2	Energiebilanz chemischer Reaktionen	75
4.2.1	Reaktionsenthalpie	75

4.2.2	Bildungsenthalpie - Berechnung von Reaktionsenthalpien	79
4.2.3	Satz von Hess	81
4.2.4	Triebkraft chemischer Reaktionen - Freie Enthalpie	82
4.3	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen	83
4.3.1	Allgemeine Betrachtungen	83
4.3.2	Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	84
4.3.3	Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	85
4.4	Katalyse	88
4.5	Chemisches Gleichgewicht - Massenwirkungsgesetz	90
4.5.1	Zustand des chemischen Gleichgewichts	90
4.5.2	Massenwirkungsgesetz	91
4.5.3	Beeinflussung der Lage des chemischen Gleichgewichts	93
4.5.4	Heterogene Gleichgewichte	95
<b>5</b>	<b>Luft und Luftinhaltsstoffe</b>	97
5.1	Zusammensetzung der Luft	97
5.2	Physikalisch-chemische Eigenschaften der Luft	99
5.3	Löslichkeit von Gasen	100
5.4	Natürliche Luftinhaltsstoffe	103
5.4.1	Stickstoff ( $N_2$ )	103
5.4.1.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	103
5.4.1.2	Ausgewählte Stickstoffverbindungen	104
5.4.2	Sauerstoff	106
5.4.2.1	Sauerstoff ( $O_2$ ): Physikalisch-chemische Eigenschaften	106
5.4.2.2	Ozon( $O_3$ )	107
5.4.2.2.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	107
5.4.2.2.2	Stratosphärisches und troposphärisches Ozon - Ozonproblematik	109
5.4.3	Kohlendioxid ( $CO_2$ )	113
5.4.3.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	113
5.4.3.2	Kohlensäure und Carbonate	115
5.4.3.3	Kohlendioxid als Treibhausgas - Treibhauseffekt	117
5.5	Luftschadstoffe	119
5.5.1	Schwefeldioxid ( $SO_2$ )	119
5.5.1.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	119
5.5.1.2	Schwefelsäuren und deren Salze	120
5.5.1.3	Saurer oder London-Smog	121
5.5.2	Stickoxide ( $NO$ , $NO_2$ )	122
5.5.3	Schadwirkungen und Maßnahmen zu ihrer Verhinderung	123
5.5.3.1	Saurer Regen und Folgeschäden	124
5.5.3.2	Rauchgasentschwefelung - REA-Gips	125
5.5.3.3	Entstickung von Rauchgas	129
5.5.3.4	Abgaskatalyse bei Kraftfahrzeugen	129
<b>6</b>	<b>Wasser und wässrige Lösungen</b>	131
6.1	Wasser - Vorkommen und Bedeutung	131
6.2	Struktur und Eigenschaften des Wassers	132
6.2.1	Molekülstruktur - Dipolnatur - Wasserstoffbrückenbindung	132
6.2.2	Anomalien des Wassers	134
6.2.2.1	Dichteanomalie	134
6.2.2.2	Oberflächenspannung - Benetzung - Kapillarität	136
6.2.2.3	Grenzflächenaktive Verbindungen: Tenside	140

6.2.2.4	Viskosität	142
6.2.2.5	Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität	142
6.2.3	Dampfdruck	143
6.2.3.1	Dampfdruck reiner Flüssigkeiten - Phasendiagramme	143
6.2.3.2	Kolligative Eigenschaften von Lösungen: Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung	146
6.3	Lösung und Löslichkeit	151
6.3.1	Lösungsvorgang - Hydratation - Hydrate	151
6.3.2	Einteilung von Lösungen nach ihrem Dispersionsgrad - Kolloide	155
6.3.3	Löslichkeit - Löslichkeitsprodukt	160
6.4	Wasser und Wasserinhaltsstoffe	166
6.4.1	Härte des Wassers - Enthärtung	166
6.4.2	Trinkwasser	170
6.4.3	Wasser im Bauwesen	171
6.5	Chemische Reaktionen in Lösung	173
6.5.1	Komplexbildungsreaktionen	173
6.5.1.1	Hydratation als Komplexbildung - Aufbau der Komplexe	173
6.5.1.2	Analytische Bedeutung von Komplexverbindungen	175
6.5.2	Elektrolyte und elektrolytische Leitfähigkeit	177
6.5.2.1	Elektrolyte - Elektrolytlösungen	177
6.5.2.2	Elektrolytische Leitfähigkeit - Aktivität	179
6.5.3	Säure-Base-Reaktionen	181
6.5.3.1	Säure-Base-Begriff	181
6.5.3.2	Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert	185
6.5.3.3	Indikatoren, Säure-Base-Titration, Normallösungen	187
6.5.3.4	Stärke von Säuren und Basen	192
6.5.3.5	Protolyse von Salzen	197
6.5.3.6	Berechnung des pH-Wertes	198
6.5.3.7	Pufferlösungen	201
6.5.3.8	Technisch und bauchemisch wichtige Säuren und Basen	203
7	<b>Redoxreaktionen - Grundlagen der Elektrochemie</b>	<b>206</b>
7.1	Begriffe: Oxidation - Reduktion	206
7.2	Formulieren von Redoxgleichungen	208
7.3	Redoxreaktionen - Spannungsreihe	211
7.3.1	Redoxvermögen der Metalle - Halbzellen	211
7.3.2	Galvanische Zellen	213
7.3.3	Standardelektrodenpotentiale - elektrochemische Spannungsreihe	214
7.3.4	Triebkraft chemischer Reaktionen - Potentialdifferenz	216
7.3.5	Folgerungen aus der elektrochemischen Spannungsreihe - Praktische Spannungsreihe	217
7.3.6	Konzentrationsabhängigkeit der Elektrodenpotentiale: Nernstsche Gleichung und ihre Anwendung	221
7.4	Elektrochemische Stromerzeugung	224
7.5	Elektrolyse	227
7.6	Redoxreaktionen in nichtwässrigem Milieu	230
8	<b>Chemie der Baumetalle</b>	<b>231</b>
8.1	Eisen und Stahl	231
8.1.1	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eisens	231

8.1.2	Produkte des Hochofenprozesses	233
8.1.3	Stahl	234
8.2	Korrosion von Metallen	237
8.2.1	Wesen der metallischen Korrosion - Korrosionstypen	238
8.2.2	Rosten von Eisen	240
8.2.3	Kontaktkorrosion	245
8.2.4	Korrosion von Stahl	247
8.2.5	Erscheinungsformen der Korrosion	248
8.2.6	Korrosionsschutz	251
8.2.6.1	Passiver Korrosionsschutz	253
8.2.6.2	Aktiver Korrosionsschutz	258
8.3	Nichteisenmetalle - Eigenschaften und Korrosionsverhalten	261
8.3.1	Aluminium	261
8.3.2	Kupfer	264
8.3.3	Zink	266
8.3.4	Blei	267
8.3.5	Chrom	269
8.3.5.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften und Verwendung	269
8.3.5.2	Chrom im Zement - Chromatreduzierer	269
9	Chemie nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe	272
9.1	Minerale und Gesteine	272
9.1.1	Gesteinsbildende Minerale	272
9.1.2	Gesteine	273
9.1.2.1	Magmatische Gesteine	273
9.1.2.2	Sedimentgesteine - Kalkstein	274
9.1.2.3	Metamorphe Gesteine	277
9.2	Silicate und siliciumorganische Verbindungen	278
9.2.1	Siliciumdioxid	278
9.2.2	Kieselsäuren	279
9.2.3	Silicate	282
9.2.3.1	Alkalimetallsilicate - Silicatklassen - Asbeste	282
9.2.3.2	Technische Silicate (Künstliche Silicate)	290
9.2.3.2.1	Gläser	290
9.2.3.2.2	Tone und Tonkeramik	296
9.2.4	Siliciumorganische Verbindungen	300
9.3	Anorganische Bindemittel	305
9.3.1	Einleitende Bemerkungen - Historisches	305
9.3.2	Baukalke	307
9.3.2.1	Luftkalke	307
9.3.2.2	Hydraulische Kalke	310
9.3.3	Zemente	311
9.3.3.1	Rohstoffe und Herstellung von Portlandzement	312
9.3.3.2	Portlandzementklinker: Zusammensetzung und Eigenschaften	314
9.3.3.3	Bestandteile von Normzementen	318
9.3.3.3.1	Hauptbestandteile	322
9.3.3.3.2	Nebenbestandteile	322
9.3.3.3.3	Calciumsulfat	322
9.3.3.3.4	(ZemenQZusätze	322
9.3.3.4	Reaktion des Zements mit Wasser	322
9.3.3.4.1	Hydratation der Klinkerphasen	322

9.3.3.4.2	Hydratation von Zementen	332
9.3.3.4.3	Erstarren - Erstarrungsstörungen	338
9.3.3.5	Aufbau und Eigenschaften des Zementsteins	338
9.3.3.6	Zementarten - Spezialzemente	343
9.3.4	Chemische Zusatzmittel und ihre Wirkungsweise	347
9.3.5	Gipse und Anhydrite	355
9.3.5.1	Vorkommen, Darstellung, Eigenschaften und Verwendung	355
9.3.5.2	Erhärtungsprozess	358
9.3.5.3	Eigenschaften von Bindemitteln auf der Basis von CaSÜ4	361
9.3.6	Magnesia- und Phosphatbinder	362
9.3.7	Kalksandsandsteine und Porenbetone	364
9.3.8	Umweltverträglichkeit von zementgebundenen Baustoffen	364
9.4	Korrosion nichtmetallisch-anorganischer Baustoffe	367
9.4.1	Korrosive Medien	367
9.4.2	Chemischer Angriff auf zementgebundene Baustoffe	368
9.4.2.1	Lösender Angriff	369
9.4.2.2	Treibender Angriff	3 71
9.4.2.3	Korrosiver Angriff auf die Bewehrung	378
9.4.2.3.1	Carbonatisierung des Betons	378
9.4.2.3.2	Chloridangriff	379
9.4.3	Biokorrosion	380
9.4.4	Salzablagerungen auf Bauwerksoberflächen (Ausblühungen)	384
9.4.5	Maßnahmen zum Korrosionsschutz (Bautenschutz)	388
<b>10</b>	<b>Chemie organischer Stoffe im Bauwesen</b>	<b>391</b>
10.1	Grundklassen organischer Verbindungen	391
10.1.1	Kohlenwasserstoffe	391
10.1.1.1	Gesättigte Kohlenwasserstoffe: Alkane und Cycloalkane	391
10.1.1.2	Ungesättigte Kohlenwasserstoffe: Alkene und Alkine	395
10.1.1.3	Aromatische Kohlenwasserstoffe und Abkömmlinge	397
10.1.2	Halogenalkane - FCKW	401
10.1.3	Alkohole und Phenole	403
10.1.4	Ether	406
10.1.5	Aldehyde und Ketone	407
10.1.6	Carbonsäuren und Ester	410
10.1.7	Fette und Öle	414
10.1.8	Heterocyclische Verbindungen	415
10.2	Organische Lösungs- und Verdünnungsmittel	416
10.3	Bitumen, Teer und Asphalt	419
10.3.1	Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel	420
10.3.2	Teer und Pech	425
10.3.3	Asphalte	426
10.4	Kunststoffe	427
10.4.1	Allgemeine Eigenschaften	427
10.4.2	Aufbau und Struktur	428
10.4.3	Einteilung der Kunststoffe nach ihren thermischen und mechanischen Eigenschaften	431
10.4.3.1	Thermoplaste (Plastomere)	431
10.4.3.2	Elastomere	434
10.4.3.3	Duroplaste (Duromere)	436
10.4.3.4	Hilfs-, Füll- und Verstärkungsstoffe in Polymeren	436
10.4.4	Einteilung der Kunststoffe nach ihrer Bildungsreaktion	438