

# Grundlagen der Allgemeinen Chemie und Technischen Chemie

von

Hans-Eberhard Heyke  
Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. pol.

Mit 95 Abbildungen und 32 Tabellen

2., erweiterte Auflage

DR. ALFRED HÜTHIG VERLAG HEIDELBERG

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur zweiten Auflage .....	11
Die Chemie und ihre Sprache .....	11
Übungsaufgaben .....	16
<b>Teil I: Grundzüge der Allgemeinen Chemie .....</b>	<b>17</b>
1. Aufbau der Elemente .....	19
1.1. Gesetz von der Erhaltung der Materie und Einsteinsches Gesetz über die Äquivalenz von Masse und Energie .....	19
1.2. Elementarteilchen .....	19
1.3. Die Atome .....	20
1.3.1. Atomkern und Nukleonen .....	21
1.3.2. Aufbau der Elemente – Kernfusion .....	26
1.3.3. Radioaktive Nuklide – Zerfallsgesetz .....	34
1.3.4. Kernspaltung – Kernreaktorvorgänge .....	38
Übungsaufgaben zu 1.1. bis 1.3. ....	46
1.4. Elektronenhülle und Periodensystem .....	51
1.5. Magnetochemie .....	67
Übungsaufgaben zu 1.4. und 1.5. ....	71
2. Die chemischen Bindungen .....	73
2.1. Ionenbindung .....	73
2.2. Elektronenpaarbindung .....	80
2.3. Metallbindung .....	95
2.4. Zwischenmolekulare Kräfte .....	102
2.5. Wasserstoffbrückenbindung .....	109
2.6. Komplexverbindungen .....	114
Übungsaufgaben zu 2. ....	122
3. Grundgesetze der Allgemeinen Chemie .....	127
3.1. Gesetze der Stöchiometrie .....	127
3.1.1. Gesetz der konstanten Proportionen .....	127
3.1.2. Gesetz der multiplen Proportionen .....	128
3.1.3. Gesetz der äquivalenten Proportionen .....	128
3.1.4. Gesetz von Avogadro .....	129
3.1.5. Die Gasgesetze .....	130
3.1.6. Osmotischer Druck .....	133
Übungsaufgaben zu 3.1. ....	135
3.2. Das Gibbssche Phasengesetz .....	137

Übungsaufgaben zu 3.2. ....	141
3.3. Das Massenwirkungsgesetz .....	142
3.3.1. Grundlagen .....	142
3.3.2. Das Prinzip des kleinsten Zwanges von Le Chatelier und Braun .....	147
3.3.2.1. Einwirkung von Wärme auf physikalische Gleich- gewichtssysteme .....	148
3.3.2.2. Einwirkung des Druckes .....	148
3.3.2.3. Einwirkung von Wärme auf chemische Gleich- gewichtssysteme .....	148
3.3.2.4. Änderung des Reaktionsdruckes .....	149
3.3.2.5. Der Einfluß von Konzentrationsänderungen .....	149
3.3.3. Das Massenwirkungsgesetz bei Ionenreaktionen .....	150
3.3.3.1. Berechnung des $p_H$ von starken Säuren und Basen .....	152
3.3.3.2. Berechnung des $p_H$ -Wertes von schwachen Säuren und schwachen Basen .....	154
3.3.3.3. $p_H$ -Berechnung von Pufferlösungen .....	157
3.3.3.4. $p_H$ -Berechnung beim Abstumpfen einer Säure ...	158
3.3.3.5. Ostwaldsches Verdünnungsgesetz .....	159
3.3.4. Das Massenwirkungsgesetz in heterogenen Systemen .....	159
3.3.4.1. Fest-gasförmige Systeme .....	160
3.3.4.2. Fest-flüssige Systeme .....	160
3.3.4.3. Das Verteilungsgesetz von Nernst .....	161
3.3.4.4. Das Absorptionsgesetz von Henry und Dalton ...	161
Übungsaufgaben zu 3.3. ....	162
3.4. Kinetische Ableitung des Massenwirkungsgesetzes. Einführung in die Reaktionskinetik .....	167
Übungsaufgaben zu 3.4. ....	179
3.5. Thermochemie .....	180
Übungsaufgaben zu 3.5. ....	184
3.6. Gesetze der Elektrochemie .....	185
3.6.1. Die Gesetze von Faraday .....	185
3.6.2. Galvanische Zelle .....	186
3.6.3. Die Nernstsche Gleichung .....	189
3.6.4. Das Verhalten der Ionen in der flüssigen Phase bei Einwirken eines elektrischen Feldes .....	191
3.6.5. Polarisationserscheinungen .....	193
Übungsaufgaben zu 3.6. ....	196
<b>Teil II: Ausgewählte Gebiete der Technischen Chemie .....</b>	<b>200</b>
4. Batterien und Akkumulatoren .....	201
4.1. Primärzellen .....	202

4.1.1. Leclanché-Zelle .....	202
4.1.2. Aktivierbare Primärzellen – wärmeaktivierte Zellen oder Thermalbatterien .....	203
4.2. Akkumulatoren .....	204
4.2.1. Blei-Akkumulator .....	204
4.2.2. Nickel-Cadmium-Akkumulator .....	206
4.2.3. Brennstoffzellen .....	207
Übungsaufgaben zu 4. ....	209
5. Korrosion der Metalle .....	210
5.1. Das äußere Erscheinungsbild der Korrosion .....	210
5.2. Chemie der Korrosion .....	212
5.2.1. H <sub>2</sub> -Korrosionstyp .....	212
5.2.2. O <sub>2</sub> -Korrosionstyp .....	213
5.2.3. Korrosion durch andere Substanzen .....	215
5.3. Pourbaix-Diagramm .....	216
Übungsaufgaben zu 5. ....	219
6. Halbleiter .....	221
6.1. Herstellung von Halbleitern .....	224
6.1.1. Germanium .....	224
6.1.2. Silicium .....	225
6.1.3. Selen, Gallium und Indium .....	226
6.1.4. Anorganische Verbindungen .....	226
6.1.5. Organische Verbindungen .....	226
6.1.6. Zonenschmelzen .....	228
6.1.7. Dotierung .....	231
6.2. Chemismus der Halbleiter .....	233
6.2.1. Eigenhalbleiter .....	233
6.2.2. Störstellenhalbleiter .....	235
6.2.2.1. Störstellenhalbleiter durch Dotierung .....	235
6.2.2.1.1. Dotierung mit Donatoren .....	235
6.2.2.1.2. Dotierung mit Akzeptoren .....	236
6.2.2.2. Störstellenhalbleiter durch Fehlordnung .....	238
6.2.2.2.1. Schottky-Fehlordnung .....	239
6.2.2.2.2. Frenkel-Fehlordnung .....	240
6.2.2.2.3. Kanten- und Schraubenversetzungen .....	240
6.2.3. Das Massenwirkungsgesetz bei Halbleitern .....	240
6.2.3.1. Dotierte Halbleiter .....	241
6.2.4. Bändermodell .....	244
6.2.5. pn-Übergang .....	245
Übungsaufgaben zu 6. ....	246
7. Brennstoffe und Kraftstoffe .....	247

7.1. Kohle .....	247
7.1.1. Entstehung der Kohle .....	247
7.1.2. Verwendung der Steinkohle .....	247
7.1.3. Verkokungsprodukte .....	249
7.1.4. Die Verbrennung und Vergasung der Kohle (bzw. des Kohlenstoffs) .....	251
7.1.4.1. Verfeuerung von Steinkohle .....	251
7.1.4.2. Generatorgas-Reaktion .....	252
7.1.4.3. Wassergas-Reaktion .....	255
7.1.4.4. Synthesegas-Reaktionen .....	256
7.2. Erdöl und Erdgas .....	257
7.2.1. Entstehung und Gewinnung des Erdöls .....	257
7.2.2. Herstellung von Kraftstoffen .....	259
7.2.3. Die Verbrennung von Methan und anderen Kohlenwasserstoffen .....	261
7.2.3.1. Methan .....	261
7.2.3.2. Andere Alkane .....	266
7.2.4. Das Klopfen im Motor .....	269
8. Schmierstoffe .....	275
8.1. Bedeutung der Schmierstoffe — Arten der Reibung .....	275
8.2. Schmiermittel-Zusatzstoffe .....	277
8.2.1. Oxidationsinhibitoren .....	277
8.2.2. Korrosionsinhibitoren .....	280
8.2.3. Tenside .....	281
8.2.4. Viskositäts-Index-Verbesserer .....	283
8.2.5. Hochdruckzusätze .....	285
8.2.6. Stockpunktverzögerer .....	287
8.2.7. Schaumverhütungszusätze .....	288
8.2.8. Farbstoffe .....	288
8.3. Synthetische Schmierstoffe .....	288
8.4. Schmierfette .....	289
8.5. Gasförmige Schmierstoffe .....	289
8.6. Feststoffschmiermittel .....	289
8.7. Tribochemische Vorgänge bei der Reibung .....	291
9. Kunststoffe — Plaste .....	292
9.1. Polyreaktion .....	292
9.2. Polykondensation .....	294
9.2.1. Polyester-Bildung .....	295
9.2.1.1. Polyveresterung .....	295
9.2.1.2. Polyumesterung (Alkoholyse) .....	296

9.2.1.3.	Abspaltung von Chlorwasserstoff und Natriumchlorid .....	296
9.2.1.4.	Polyesterbildung mit Säureanhydriden .....	297
9.2.1.5.	Polyterephthalsäureglykolester .....	298
9.2.2.	Polyamid-, Polyimid- und Polybenzimidazol-Bindung .....	298
9.2.2.1.	Polyamidierung .....	298
9.2.2.2.	Polyimide .....	300
9.2.2.3.	Polybenzimidazole .....	300
9.2.3.	Polysulfid-Bildung .....	301
9.2.4.	Phenoplast-Bildung .....	301
9.2.5.	Aminoplast-Bildung .....	302
9.2.6.	Silicon-Bildung (Polysiloxane) .....	306
9.2.7.	Polykondensationen mit anderen elementorganischen Verbindungen .....	308
9.2.8.	Polysulfone .....	308
9.2.9.	Polyphenylenoxid .....	309
9.3.	Polyaddition .....	309
9.3.1.	Polyurethan-Bildung .....	309
9.3.2.	Polyhydantoine .....	311
9.3.3.	Polyepoxidierung .....	312
9.4.	Polymerisation .....	313
9.4.1.	Radikalketten-Polymerisation .....	313
9.4.1.1.	Reaktionsverlauf bei der Makromolekülbildung ..	313
9.4.1.2.	Telomerisation .....	320
9.4.1.3.	Übertragungsreaktionen mit Zusatzstoffen .....	321
9.4.1.4.	Redox-Polymerisation .....	323
9.4.2.	Ionenketten-Polymerisation .....	323
9.4.2.1.	Kationische Ionenkettenpolymerisation .....	324
9.4.2.2.	Anionische Ionenkettenpolymerisation .....	326
9.4.3.	Stereospezifische Polymerisation .....	327
9.4.4.	Einzelne Polymerisate .....	331
9.4.4.1.	Polymerisate aus der Polymerisation der C=C-Doppelbindung .....	331
9.4.4.2.	Polymerisate aus der Polymerisation der C=O-Doppelbindung .....	333
9.4.5.	Besondere Polymerisate .....	334
9.4.5.1.	Poly-p-xylylen .....	334
9.4.5.2.	Ionomere .....	334
9.4.6.	Reaktionen mit makromolekularen Verbindungen .....	337
9.5.	Die technischen Verfahren der Polyreaktion .....	338
9.5.1.	Polymerisation im homogenen System .....	338
9.5.1.1.	Substanz-Polymerisation .....	338

9.5.1.2.	Lösungs-Polymerisation .....	339
9.5.1.3.	Fällungs-Polymerisation .....	339
9.5.2.	Polymerisation im heterogenen System .....	340
9.5.2.1.	„Suspensions“-Polymerisation .....	340
9.5.2.2.	Emulsions-Polymerisation .....	341
9.6.	Besondere Anwendungsformen der Kunststoffe .....	344
9.6.1.	Polypermischungen .....	344
9.6.2.	Verstärkung von Kunststoffen .....	344
9.6.2.1.	Polymere für faserverstärkte Kunststoffe .....	345
9.6.2.2.	Verstärkungsfasern .....	346
9.7.	Alterung von Kunststoffen .....	348
9.7.1.	Allgemeiner Überblick über die Alterung von Kunststoffen ..	348
9.7.1.1.	Die innere Kinetik der Makromoleküle .....	349
9.7.1.2.	Die thermodynamischen Nichtgleichgewichtszu- stände der Hochpolymere .....	352
9.7.1.3.	Beeinflussung von physikalischen Eigenschaften ..	353
9.7.1.4.	Chemische Veränderungen an Polymeren .....	356
9.7.1.4.1.	Thermische Energie .....	357
9.7.1.4.2.	Ultraviolette Strahlungsenergie .....	357
9.7.1.4.3.	Kernstrahlungsenergie .....	360
9.7.1.4.4.	Sauerstoff .....	361
9.7.1.4.5.	Wasser .....	363
9.7.1.4.6.	Andere chemische Verbindungen .....	364
9.7.1.4.7.	Kombinationen der verschiedenen Alterungseinflüsse .....	365
9.7.2.	Die Alterung einzelner Kunststoffe .....	366
9.7.2.1.	Übersicht über das thermische Verhalten .....	366
9.7.2.2.	Alterung, insbesondere thermische Zersetzung, ausgewählter makromolekularer Stoffe .....	375
9.7.2.2.1.	Polystyrol .....	375
9.7.2.2.2.	Polyäthylen .....	379
9.7.2.2.3.	Polytetrafluoräthylen .....	383
9.7.2.2.4.	Polyvinylchlorid .....	383
9.7.2.2.5.	Polyvinylalkohol .....	386
9.7.2.2.6.	Polyvinylacetat .....	388
9.7.2.2.7.	Polyacetal (Polyoxymethylen) .....	389
9.7.2.2.8.	Polyamide .....	390
Übungsaufgaben zu 9.	.....	392
Lösungen der Übungsaufgaben	.....	394
Sachverzeichnis	.....	491