

# Inhalt

## Teil I Chemische Grundlagen 1

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Chemie</b>	<b>2</b>
2.1	Abgrenzung von Chemie, Physik und Biologie	2
2.2	Einteilung der Stoffe	3
2.3	Trennung von Gemengen	4
2.4	Gehaltsgrößen von Lösungen	7
2.5	Identifikation von Stoffen	11
2.6	Aufbau der Stoffe	11
2.6.1	Vorstellungen über den Aufbau der Atome	12
2.6.2	Modellvorstellungen über den Aufbau der Atomhülle	14
2.6.3	Periodensystem der Elemente	15
2.6.4	Vorstellungen über den Aufbau von Verbindungen	17
2.6.4.1	Atombindung (Kovalente Bindung)	17
2.6.4.2	Polarisierte Atombindung	19
2.6.4.3	Ionenbindung	22
2.6.4.4	Metallbindung	24
2.6.4.5	Wertigkeitsbegriffe	26
2.7	Chemische Reaktionen	28
2.7.1	Chemische Reaktionsgleichung	28
2.7.2	Energieumsatz bei chemischen Reaktionen	31
2.7.3	Geschwindigkeit chemischer Reaktionen	34
2.7.4	Chemisches Gleichgewicht	35
2.7.5	Redoxreaktionen	39
2.7.5.1	Oxidation, Reduktion	39
2.7.5.2	Elektrochemie	42
2.7.6	Protolysen	49
2.8	Nomenklatur anorganischer Verbindungen	54
<b>3</b>	<b>Chemische, physikalisch-chemische und physikalische Berechnungen</b>	<b>60</b>
3.1	Massenanteil von Elementen in Verbindungen	60
3.2	Empirische Formel einer Verbindung	61
3.3	Chemische Reaktionen	63
3.3.1	Formulieren von Reaktionsgleichungen	63
3.3.2	Umsatz und Ausbeute	65

## VIII *Inhalt*

- 3.3.3 Gasgesetze 67
- 3.3.4 Energieumsatz, Heizwert 69
- 3.4 Lösungen 73
  - 3.4.1 pH-Wert 73
  - 3.4.2 Gehaltsgrößen 75
    - 3.4.2.1 Anteile 75
    - 3.4.2.2 Konzentrationen 77
    - 3.4.2.3 Löslichkeit  $L^*$  81
    - 3.4.2.4 Löslichkeitsprodukt  $L$  82
    - 3.4.2.5 Verdünnen und Konzentrieren von Lösungen 85
  - 3.5 Spezifische Stoffkennwerte 88
    - 3.5.1 Spezifische Schmelzwärme  $q$  88
    - 3.5.2 Spezifische Verdampfungswärme  $r$  88
    - 3.5.3 Spezifische Wärmekapazität  $c$  89
    - 3.5.4 Längenausdehnung 90
    - 3.5.5 Volumenausdehnung 90
    - 3.5.6 Dichte  $\rho$  91
  - 3.6 Quantitative Analytik 92
    - 3.6.1 Photometrie 92
    - 3.6.2 Volumetrie 93
      - 3.6.2.1 Neutralisationstitrationsen 94
      - 3.6.2.2 Fällungstitrationsen 98
      - 3.6.2.3 Redoxstitrationsen 99
      - 3.6.2.4 Komplexbildungstitrationsen 100
    - 3.6.3 Gravimetrie 101
  - 3.7 Glühverlust, Glührückstand 102
  - 3.8 Schüttgrößen 103
    - 3.8.1 Schüttdichte 103
    - 3.8.2 Schüttwinkel 105
  
- 4 Anorganische Chemie 106**
  - 4.1 Erste Hauptgruppe 106
    - 4.1.1 Wasserstoff 106
    - 4.1.2 Alkalimetalle 107
      - 4.1.2.1 Lithium 107
      - 4.1.2.2 Natrium 107
      - 4.1.2.3 Kalium 110
      - 4.1.2.4 Rubidium, Caesium, Francium 110
  - 4.2 Zweite Hauptgruppe 110
    - 4.2.1 Beryllium 111
    - 4.2.2 Magnesium 111
    - 4.2.3 Calcium 111
    - 4.2.4 Strontium, Barium, Radium 112
  - 4.3 Dritte Hauptgruppe 112
    - 4.3.1 Bor 112
    - 4.3.2 Aluminium 113

- 4.3.3 Gallium, Indium, Thallium 115
- 4.4 Vierte Hauptgruppe 115
  - 4.4.1 Kohlenstoff 115
  - 4.4.2 Silicium 119
  - 4.4.3 Germanium 120
  - 4.4.4 Zinn 121
  - 4.4.5 Blei 121
- 4.5 Fünfte Hauptgruppe 121
  - 4.5.1 Stickstoff 122
  - 4.5.2 Phosphor 124
  - 4.5.3 Arsen, Antimon, Bismut 125
- 4.6 Sechste Hauptgruppe 126
  - 4.6.1 Sauerstoff 126
  - 4.6.2 Schwefel 126
  - 4.6.3 Selen, Tellur, Polonium 128
- 4.7 Siebte Hauptgruppe 128
  - 4.7.1 Fluor 128
  - 4.7.2 Chlor 129
  - 4.7.3 Brom 129
  - 4.7.4 Iod, Astat 130
- 4.8 Achte Hauptgruppe 130
- 4.9 Nebengruppenelemente 130
  - 4.9.1 Erste Nebengruppe: Kupfer, Silber, Gold 131
  - 4.9.2 Zweite Nebengruppe: Zink, Cadmium, Quecksilber 134
  - 4.9.3 Dritte Nebengruppe: Scandium, Yttrium, Lanthan (und Lanthanide), Actinium (und Actinide) 135
  - 4.9.4 Vierte Nebengruppe: Titan, Zirconium, Hafnium, Unnilquadium 136
  - 4.9.5 Fünfte Nebengruppe: Vanadium, Niobium, Tantal, Unnilpentium 138
  - 4.9.6 Sechste Nebengruppe: Chrom, Molybdän, Wolfram, Unnilhexium 139
  - 4.9.7 Siebte Nebengruppe: Mangan, Technetium, Rhenium, Unnilseptium 139
  - 4.9.8 Achte Nebengruppe 140
    - 4.9.8.1 Eisen­gruppe: Eisen, Cobalt, Nickel 140
    - 4.9.8.2 Platinmetalle: Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium, Platin, Unniloctium, Unnilennium 142
- 5 **Organische Chemie** 146
  - 5.1 Einführung 146
  - 5.2 Einteilung der organischen Verbindungen 148
  - 5.3 Kohlenstoffatombindungen 149
    - 5.3.1 Einfachbindung 150
    - 5.3.2 Doppelbindung (Zweifachbindung) 150
    - 5.3.3 Dreifachbindung 151
    - 5.3.4 Aromatische Bindung 151
  - 5.4 Grundtypen von Reaktionen 152
    - 5.4.1 Substitution 153
    - 5.4.2 Addition 153

X *Inhalt*

5.4.3	Eliminierung	153
5.4.4	Umlagerung	154
5.5	Rohstoffe Erdöl, Erdgas, Kohle	154
5.5.1	Erdöl	154
5.5.2	Erdgas	156
5.5.3	Kohle	156
5.6	Verbindungsklassen	157
5.6.1	Kohlenwasserstoffe	157
5.6.1.1	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	157
5.6.1.2	Cyclische Kohlenwasserstoffe	162
5.6.2	Halogenkohlenwasserstoffe (HKW)	164
5.6.3	Hydroxy-Verbindungen	164
5.6.3.1	Alkohole	164
5.6.3.2	Aromatische Hydroxy-Verbindungen (Phenole)	166
5.6.4	Ether	167
5.6.5	Aldehyde	167
5.6.6	Ketone	168
5.6.7	Carbonsäuren	168
5.6.8	Ester, Fette und Öle	170
5.6.9	Tenside und Waschmittel	171
5.6.10	Kohlenhydrate (Kohlehydrate)	179
5.6.11	Organische Stickstoff-Verbindungen	181
5.6.11.1	Nitro-Verbindungen	181
5.6.11.2	Amino-Verbindungen (Amine)	181
5.6.11.3	Eiweiße	182
5.6.11.4	Carbonsäureamide	184
5.6.12	Organische Schwefel-Verbindungen	185
5.6.13	Kunststoffe	185

**Teil II Chemie und Analytik von Wasser, Abwasser und Abfall 197**

<b>6</b>	<b>Grundlagen der Chemie und der Analytik des Wassers</b>	<b>197</b>
6.1	Einführung	197
6.2	Wasserarten	197
6.3	Aspekte der Chemie und Toxikologie von Wasserinhaltsstoffen	198
6.3.1	Anorganische Stoffe	199
6.3.1.1	Kationen	199
6.3.1.2	Anionen	206
6.3.1.3	Gelöste Gase	211
6.3.1.4	Nichtelektrolyte	212
6.3.2	Organische Stoffe	213
6.3.2.1	Pestizide (Schädlingsbekämpfungsmittel)	213
6.3.2.2	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK, PAH)	215
6.3.2.3	Halogenkohlenwasserstoffe (HKW)	215
6.3.2.4	Phenole	216

6.3.2.5	Kohlenwasserstoffe (KW)	216
6.3.2.6	Tenside	216
6.3.2.7	Fette	217
6.3.2.8	Polychlorierte Dibenzodioxine (Dioxine)	217
6.3.2.9	Methanal (Formaldehyd)	217
6.4	Analyse von Wasserproben	218
6.4.1	Probenahme von Wässern und Schlämmen	218
6.4.2	Durchführung der Wasseranalyse	220
6.4.2.1	Organoleptische und sensorische Prüfung	227
6.4.2.2	Physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungen	228
6.4.2.3	Bestimmung chemischer und biochemischer Summenparameter	230
6.4.2.4	Bestimmung chemischer Gruppenparameter	243
6.4.2.5	Bestimmung der gelösten Gase	245
6.4.2.6	Bestimmung von Kationen und Anionen	249
6.4.3	Beurteilung und Interpretation der Ergebnisse	263
6.4.3.1	Grundwasser	264
6.4.3.2	Oberflächenwasser	264
6.4.3.3	Trinkwasser	266
6.4.3.4	Abwasser	266
6.4.3.5	Beurteilung und Interpretation einzelner Parameter	267
6.5	Chemische und physikalische Verfahren der Wasserbehandlung	269
6.5.1	Neutralisation	269
6.5.2	Fällung	269
6.5.3	Flockung	270
6.5.4	Ionenaustausch	270
6.5.5	Redoxreaktionen	271
6.5.6	Adsorption	271
6.5.7	Entfernung von Ölen	272
6.5.8	Emulsionsspaltung	272
6.5.9	Membran-Verfahren	272
<b>7</b>	<b>Chemische Aspekte der Wasserversorgung</b>	<b>273</b>
7.1	Belüftung	273
7.2	Entkeimung	273
7.3	Entsäuerung und Entkieselung	274
7.4	Enteisenung	275
7.5	Entmanganung	275
7.6	Entfernung von Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen (Schönung)	275
7.7	Enthärtung und Entsalzung	275
7.8	Entfernung von Stickstoff-Verbindungen	276
<b>8</b>	<b>Chemische Aspekte der Abwasserreinigung</b>	<b>277</b>
8.1	Prinzipien von Abwasserreinigungsanlagen	277
8.2	Inhaltsstoffe einzelner Abwasserarten	279
8.2.1	Häusliches Schmutzwasser	279
8.2.2	Gewerbliches Schmutzwasser	280

8.2.2.1	Beizereien	280
8.2.2.2	Bergwerke	280
8.2.2.3	Brauereien	280
8.2.2.4	Brennereien und Hefefabriken	280
8.2.2.5	Chemische Industrie	281
8.2.2.6	Chemische Reinigungsanstalten	281
8.2.2.7	Färbereien, Farbstoffindustrie	281
8.2.2.8	Galvanisierbetriebe	281
8.2.2.9	Gemüse-, Sauerkraut- und Zuckerfabriken	282
8.2.2.10	Gerbereien	282
8.2.2.11	Kartoffelverarbeitende Betriebe	282
8.2.2.12	Kokereien und Teerverwertungsbetriebe	282
8.2.2.13	Milchverarbeitende Betriebe	283
8.2.2.14	Raffinerien, Petrochemische Betriebe	283
8.2.2.15	Schlachthöfe	283
8.2.2.16	Stahl- und Walzwerke, Härtereien	283
8.2.2.17	Tankstellen, Kraftfahrzeugbetriebe	283
8.2.2.18	Viehaufzucht	284
8.2.2.19	Wollwäschereien, Wollkämmereien	284
8.2.2.20	Zellstoff- und Papierindustrie	284
8.2.3	Tensidhaltige Abwässer	285
8.2.4	Niederschlagswasser	285
8.2.5	Kommunales Abwasser	285
8.3	Chemische Verfahren zur Abwasserbehandlung	286
8.3.1	Neutralisation	287
8.3.2	Weitergehende Reinigung	288
8.3.3	Redoxreaktionen (Entgiftung im engeren Sinne)	288
8.3.4	NaBoxidation	289
8.3.5	Fällung	289
8.3.6	Abwasserverbrennung	300
8.4	Abwasser- und Schlammanalytik	300
8.4.1	Reinigungsgrad	300
8.4.2	Schlammanalytik	301
8.4.2.1	Schlammstabilisation	301
8.4.2.2	Gehalt organischer Säuren	302
8.4.2.3	Feststoffgehalt (Trockensubstanz und Trockenrückstand)	302
8.4.2.4	Glührückstand und Glühverlust	303
8.4.2.5	Schwermetallgehalte	303
8.5	Düngewert von Klärschlamm	304
8.6	Faulgas (Heizwert, Entschwefelung)	304
<b>9</b>	<b>Chemische Aspekte der Abfallentsorgung</b>	<b>305</b>
9.1	Einführung in die Abfallanalytik	305
9.2	Abfallarten	306
9.3	Sammlung, Transport, Lagerung von und Umgang mit gefährlichen Sonderabfällen	310

9.4	Analytik von Abfällen und Verfahren der Abfallbehandlung	316
9.4.1	Einführung in die Abfallanalytik	316
9.4.2	Deponie	318
9.4.3	Abfallverbrennung (Müllverbrennung)	321
9.4.3.1	Analytische Parameter	321
9.4.3.2	Prozeßschritte der Müllverbrennung	322
9.4.3.3	Rauchgasbehandlung	322
9.4.3.4	Sonderabfallverbrennung	324
9.4.4	Pyrolyse, Schwelbrennverfahren, Thermoselect-Verfahren	325
9.4.5	Kompostierung	326
9.5	Recycling (Wiederverwendung und Weiterverwertung von Abfallstoffen)	327
9.5.1	Begründung der Notwendigkeit von Recycling	327
9.5.2	Metalle	328
9.5.3	Papier, Pappe	329
9.5.4	Glas	331
9.5.5	Reifen	331
9.5.6	Kunststoffe	332
9.5.7	Lösungsmittel	332
9.5.8	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW), Kühlschränke	333
9.5.9	Altöle	334
9.5.10	Klärschlamm	334
9.5.11	Bauschutt	334

Anhang A Qualitätsanforderungen, Richt- und Grenzwerte für verschiedene Wasserarten, Abwässer, Klärschlamm, Boden und Abgase 335

Anhang B Kennzeichnung von Gefahrstoffen 350

Anhang C Abkürzungen, mathematische Zeichen, griechisches Alphabet 360

Lösungen der Übungen 363

Literaturverzeichnis 371

Register 377

Periodensystem der Elemente als Ausschlagtafel am Ende des Bandes