

1	Stoffe und Stoffsysteme	15
1.1	Stoffe	16
1.1.1	Chemische Elemente	17
1.1.2	Chemische Verbindungen	20
1.2	Reinstoffe	21
1.3	Stoffgemische	21
1.3.1	Homogene Gemische	21
1.3.2	Heterogene Gemische	22
1.4	Aggregatzustände	23
1.4.1	Gasförmiger Zustand	23
1.4.2	Flüssiger Zustand	24
1.4.3	Fester Zustand	24
1.4.4	Weitere Zustandsformen	25
1.5	Physikalisch messbare Stoffgrößen	26
1.5.1	Internationales Einheitensystem	26
1.5.2	Wärme	28
1.5.3	Temperatureinheiten	28
1.5.4	Messgeräte zur Temperaturbestimmung	30
1.5.5	Masse m	32
1.5.6	Volumen V	37
1.5.7	Dichte ρ	41
1.5.8	Stoffmenge n	49
1.6	Stoffeigenschaften	50
1.6.1	Schmelztemperatur	50
1.6.2	Siedetemperatur	52
1.6.3	Löslichkeit L^*	53
1.6.4	Viskosität η	53
1.6.5	Oberflächenspannung σ	56
1.6.6	Werkstoffe im Labor	56
	Aufgaben zu Kapitel 1	58
2	Stofftrennverfahren	59
2.1	Sortieren und Klassieren	61
2.1.1	Magnetsortieren	62
2.1.2	Dichtesortieren	62
2.1.3	Flotieren	62
2.1.4	Siebklassieren	63
2.1.5	Sichten	64
2.2	Sedimentieren und Dekantieren	65
2.3	Zentrifugieren	66
2.4	Filtrieren	67
2.5	Extrahieren	69
2.5.1	Fest-Flüssig-Extraktion	70
2.5.2	Flüssig-Flüssig-Extraktion	71
2.6	Absorbieren, Adsorbieren, Desorbieren	75
	Aufgaben zu Kapitel 2	76
3	Thermische Trennverfahren	77
3.1	Abdampfen und Eindampfen	77
3.2	Destillation	77
3.3	Aufbau einer Destillationsanlage	78
3.3.1	Bauteile der Destillationsanlage	78

3.3.2	Vorrichtungen zum Heizen	79
3.3.3	Vorrichtungen zum Kühlen	79
3.4	Fraktionierte Destillation	80
3.4.1	Zeitlicher Temperaturverlauf	80
3.4.2	Aufbau einer Apparatur zur fraktionierten Destillation	81
3.5	Siedediagramme	81
3.5.1	Dampfdruck	81
3.5.2	Zustandsdiagramme	83
3.5.3	Dampfdruckdiagramme	85
3.5.4	Homogene Flüssigkeitsgemische	85
3.5.5	Ideale Flüssigkeitsgemische	86
3.5.6	Reale Flüssigkeitsgemische	89
3.5.7	Siedediagramme und Taudiagramme	90
3.5.8	Gleichgewichtsdiagramme	91
3.6	Rektifikation	93
3.6.1	Kolonntypen	94
3.6.2	Rücklaufverhältnis	96
3.6.3	Theoretische Trennstufen	97
3.6.4	Verstärkungsverhältnis (Bodenwirkungsgrad)	101
3.6.5	Trennleistung von Füllkörperkolonnen und Packungskolonnen	102
3.7	Spezielle thermische Trennverfahren	103
3.7.1	Vakuumdestillation	103
3.7.2	Trägerdampfdestillation	105
3.7.3	Rektifikation von Mehrstoffgemischen	106
3.7.4	Rektifikation azeotroper Gemische	107
3.7.5	Extraktiv-Rektifikation	110
Aufgaben zu Kapitel 3		111

4 Reinigen von Stoffen 113

4.1	Trocknen von Stoffen	113
4.1.1	Feuchtigkeit	113
4.1.2	Trocknungsmethoden	114
4.1.3	Wahl der geeigneten Trocknungsmethode	117
4.1.4	Praktische Durchführung von Trocknungen	118
4.2	Entsalzen und Enthärten	121
4.2.1	Methoden zur Entsalzung	123
4.2.2	Methoden zur Enthärtung	127
4.3	Umkristallisation und Umfällen	128
4.3.1	Umkristallisation	128
4.3.2	Umfällen	130
4.4	Sublimation	130
4.5	Reinheits- und Qualitätsangaben von Stoffen	133
Aufgaben zu Kapitel 4		134

5 Atombau und Periodensystem 135

5.1	Wichtige Atommodelle	135
5.1.1	<i>Demokrits</i> Atomvorstellung	135
5.1.2	<i>Daltons</i> Atommodell	135
5.1.3	<i>Thomsons</i> Atommodell (Kugelmodell)	137
5.1.4	<i>Rutherfords</i> Atommodell (Kern-Hülle-Modell)	137
5.1.5	Atommodell nach <i>Bohr</i> (Schalenmodell)	138
5.1.6	Wellenmechanisches Atommodell (Orbitalmodell)	141
5.2	Quantenzahlen und Orbitale	141
5.2.1	Quantenzahlen und <i>Pauli</i> -Verbot	141

Inhaltsverzeichnis

5.2.2	Atomorbitale	142
5.2.3	Orbitalbesetzung und <i>Hundsche Regel</i>	144
5.3	Periodensystem der Elemente	145
5.3.1	Ordnungskriterien des Periodensystems der Elemente	145
5.3.2	Relative Atommasse	147
5.3.3	Isotope	147
5.3.4	Perioden und Gruppen im Periodensystem der Elemente	149
5.3.5	Periodizität der Eigenschaften der Elemente	151
5.3.6	Hauptgruppenelemente und ihre Eigenschaften	158
Aufgaben zu Kapitel 5		160

6	Chemische Bindung	161
----------	--------------------------------	------------

6.1	Ionenbindung	162
6.1.1	Energetische Prozesse der Ionenbindung	162
6.1.2	Ionen der Hauptgruppenmetalle und mehratomige Ionen	163
6.1.3	Ionen der Übergangsmetalle	163
6.1.4	Namen und Formeln ionischer Verbindungen	164
6.1.5	Eigenschaften ionischer Verbindungen	166
6.2	Atombindung	168
6.2.1	Prinzipien der kovalenten Bindung und <i>Lewis</i> -Formeln	169
6.2.2	Hypervalente Verbindungen, Elektronenmangelverbindungen, Radikale und koordinative Bindung	171
6.2.3	Formale Ladung und Mesomerie (Resonanz)	173
6.2.4	VSEPR-Modell	174
6.2.5	<i>Valence-Bond</i> -Theorie	176
6.2.6	Hybridisierung	178
6.2.7	Molekülorbital-Theorie	182
6.2.8	Atomkristalle	185
6.2.9	Polare Atombindung und Elektronegativität	185
6.3	Zwischenmolekulare Kräfte	188
6.3.1	Wasserstoffbrücken	190
6.3.2	Dipol-Kräfte	193
6.3.3	<i>Van-der-Waals</i> -Kräfte	198
6.4	Metallbindung	201
6.4.1	Elektronengas-Modell	202
6.4.2	Bänder-Modell	203
6.4.3	Kristallgitter der Metalle	206
6.4.4	Metallische Legierungen	208
6.5	Koordinative Verbindungen	210
6.5.1	Metallkomplexe	210
6.5.2	Formeldarstellung und Nomenklatur komplexer Verbindungen	212
6.5.3	Chelatkomplexe	214
6.5.4	Ligandenaustausch	215
Aufgaben zu Kapitel 6		216

7	Chemische Reaktionen	217
----------	-----------------------------------	------------

7.1	Reaktionsgleichungen	217
7.1.1	Bedeutung von Reaktionsgleichungen	218
7.1.2	Reaktionsschema	219
7.2	Aufstellen einer Reaktionsgleichung	220
7.3	Redox-Reaktion – Reduktion und Oxidation	222
7.3.1	Historischer Begriff der Reduktion und Oxidation	222
7.3.2	Moderner Begriff der Reduktion und Oxidation	223
7.3.3	Oxidationszahlen	224

7.3.4	Aufstellen und Bilanzieren von Redox-Gleichungen	226
7.3.5	Disproportionierung und Komproportionierung	228
Aufgaben zu Kapitel 7		230

8 Quantitative Aussagen von Reaktionsgleichungen 231

8.1	Chemische Grundgesetze	231
8.1.1	Gesetz von der Erhaltung der Masse	231
8.1.2	Gesetz der konstanten Proportionen	232
8.1.3	Gesetz der multiplen Proportionen	236
8.2	Stöchiometrische Größen	239
8.2.1	Stoffmenge n	239
8.2.2	Molare Masse M	239
8.2.3	Stoffmengenkonzentration	244
8.2.4	Zustandsgrößen von Gasen	247
8.3	Stöchiometrische Berechnungen	257
8.3.1	Umsatz	257
8.3.2	Ausbeute	259
8.3.3	Selektivität	261
Aufgaben zu Kapitel 8		264

9 Lösungen und Gehaltsangaben 265

9.1	Lösungen	265
9.1.1	Lösevorgang	265
9.1.2	Volumeneffekt	266
9.1.3	Lösegeschwindigkeit	266
9.1.4	Sättigungsgrad von Lösungen	267
9.1.5	Löslichkeit von Feststoffen	268
9.1.6	Löslichkeit von Gasen	269
9.2	Eigenschaften von Lösungen	271
9.2.1	Siedetemperaturerhöhung	271
9.2.2	Schmelztemperaturerniedrigung	272
9.3	Gehaltsangaben	272
9.3.1	Anteilsangaben	273
9.3.2	Konzentrationsangaben	276
9.3.3	Verhältnisangaben	280
9.3.4	Umrechnung von Gehaltsgrößen	281
9.4	Lösungen bestimmter Konzentration	282
9.4.1	Rechnen mit der Mischungsgleichung	282
9.4.2	Rechnen mit dem Mischungskreuz	284
9.4.3	Verdünnen von Lösungen	285
Aufgaben zu Kapitel 9		288

10 Gefahrstoffe und Arbeitsschutz 289

10.1	Sicherheitsstandards im Labor	290
10.1.1	Hinweiszeichen	290
10.1.2	Warnungen vor speziellen Gefahren	291
10.1.3	Persönliche Schutzausrüstung und technische Schutzeinrichtung	292
10.1.4	Gebote und Verbote	295
10.1.5	Sicherheitseinrichtungen	296
10.1.6	Vermeidung von Gefahrensituationen	298
10.2	Umgang mit Gefahrstoffen	299
10.2.1	Gesetzliche Grundlagen	299
10.2.2	Basis der Einstufung von Gefahrstoffen	300

10.2.3	Merkmale eines Gefahrstoffs	301
10.2.4	Warnung vor Gefahren (Gefahrenpiktogramme)	303
10.2.5	Hinweise zu Gefahren und zur Sicherheit (H- und P-Sätze)	305
10.3	Gefährdungen durch Gefahrstoffe und Schutzmaßnahmen	306
10.3.1	Akute Giftwirkung	306
10.3.2	Gesundheitsgefährdende Stoffe	307
10.3.3	Ätzend und reizend	310
10.3.4	Entzündbar, brandfördernd, explosionsgefährlich	311
10.3.5	Brandklassen und Löschmittel	315
10.4	Kennzeichnung, Transport, Lagerung von Gefahrstoffen	318
10.4.1	Etikettierung eines Chemikaliengebindes	318
10.4.2	Kennzeichnung von Druckgasbehältern und Rohrleitungen	319
10.4.3	Verwendung von Druckgasflaschen mit Druckminderventilen	322
10.4.4	Transport und Lagerung	322
10.5	Entsorgung von Gefahrstoffen	324
10.5.1	Umweltgefährliche Stoffe	324
10.5.2	Abfallkategorien	325
10.6	Betriebsanweisungen nach § 14 Gefahrstoffverordnung	326
10.6.1	Inhalte von Betriebsanweisungen	327
10.7	Kenndaten des Arbeitsschutzes	330
10.7.1	Arbeitsplatzgrenzwert	331
10.7.2	Risikobewertung bei krebserzeugenden Stoffen	333
10.7.3	Biologischer Grenzwert	335
10.7.4	Einhaltung von Grenzwerten, Gefährdungsbeurteilung und Schutzmaßnahmen	335
Aufgaben zu Kapitel 10		336
11 Reaktionskinetik		337
11.1	Reaktionsgeschwindigkeit	337
11.2	Einfluss der Konzentration auf die Reaktionsgeschwindigkeit	339
11.3	Reaktionsordnung	342
11.4	Einfluss der Temperatur auf die Reaktionsgeschwindigkeit	346
11.5	Katalyse	351
11.5.1	Wirkungsweise von Katalysatoren	352
11.5.2	Homogene Katalyse	352
11.5.3	Heterogene Katalyse	354
Aufgaben zu Kapitel 11		357
12 Chemisches Gleichgewicht		359
12.1	Massenwirkungsgesetz	359
12.2	Die Gleichgewichtskonstante K_c und ihre Bedeutung	363
12.3	Gasgleichgewichte und die Gleichgewichtskonstante K_p	365
12.4	Heterogene Gleichgewichte	366
12.5	Berechnung von Gleichgewichten	368
12.6	Verschiebung der Gleichgewichtslage	372
12.6.1	Änderung der Konzentration	372
12.6.2	Änderung des Drucks	374
12.6.3	Änderung der Temperatur	375
12.7	Lösungsgleichgewicht und Löslichkeitsprodukt	376
12.7.1	Löslichkeitsprodukt und Löslichkeit	377
12.7.2	Einflüsse auf das Lösungsgleichgewicht	380
12.7.3	Fällungsreaktionen	381
Aufgaben zu Kapitel 12		382

13	Säuren und Basen	383
13.1	Die <i>Brønsted-Lowry</i> -Theorie der Säuren und Basen	383
13.2	Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert	386
13.3	Säurestärke	390
13.3.1	Säure- und Basenkonstanten	390
13.3.2	pH-Wert-Berechnungen starker und schwacher Säuren	392
13.3.3	Protolysegrad	394
13.3.4	Mehrprotonige Säuren	395
13.3.5	Schwache Basen	396
13.3.6	Säurestärke der Nichtmetallwasserstoffverbindungen	397
13.4	Protolysen von Salzen in Wasser	397
13.5	Pufferlösungen	399
13.6	Säuren und Basen nach <i>Lewis</i>	403
	Aufgaben zu Kapitel 13	403
14	Volumetrische und gravimetrische Analyse	405
14.1	Volumetrische Analyse	405
14.1.1	Äquivalenzpunkterkennung	406
14.1.2	Maßlösungen	409
14.1.3	Titrationstechniken	416
14.1.4	Säure-Base-Titration	417
14.1.5	Redoxtitration	424
14.1.6	Komplexometrische Titration	431
14.1.7	Fällungstitration	435
14.1.8	Spezielle Titrationen	439
14.2	Gravimetrische Analyse	447
14.2.1	Gravimetrische Fällungsanalyse	447
14.2.2	Feuchtigkeits- und Trockengehalt, Glührückstand	450
14.2.3	Thermogravimetrie	451
14.2.4	Elektrogravimetrie	452
	Aufgaben zu Kapitel 14	453
15	Energie und Entropie	455
15.1	Die Natur der Energie	455
15.1.1	Kinetische Energie	455
15.1.2	Potentielle Energie	456
15.2	Innere Energie und Enthalpie	457
15.2.1	Innere Energie	458
15.2.2	Reaktionsenthalpie	458
15.2.3	Standardenthalpien	462
15.2.4	Enthalpien verschiedener Prozesse	464
15.3	Entropie und freie Enthalpie	466
15.3.1	Spontane Prozesse	466
15.3.2	Entropie	467
15.3.3	Freie Reaktionsenthalpie und Gesamtentropie	470
15.3.4	Freie Standardbildungsenthalpie	472
15.3.5	Temperaturabhängigkeit der freien Enthalpie	474
15.3.6	Freie Enthalpie und Gleichgewichtskonstanten	475
	Aufgaben zu Kapitel 15	476

16	Organische Chemie	477
16.1	Eigenschaften organischer Verbindungen	477
16.2	Formelschreibweise organischer Verbindungen	479
16.3	Struktur einer organischen Verbindung – Strukturisomerie	481
16.4	Derivate und funktionelle Gruppen	482
16.5	Alkane	482
16.5.1	Die homologe Reihe der Alkane	483
16.5.2	Strukturisomerie bei Alkanen	484
16.5.3	Systematische Benennung der Alkane	484
16.5.4	Physikalische Eigenschaften der Alkane	486
16.5.5	Chemisches Verhalten der Alkane	487
16.5.6	Methan	487
16.5.7	Ethan	487
16.6	Alkene und Alkine	489
16.6.1	Ethen	489
16.6.2	Die homologe Reihe der Alkene	491
16.6.3	Isomerie bei Alkenen	491
16.6.4	Systematische Benennung der Alkene	492
16.6.5	Mehrfach ungesättigte Kohlenwasserstoffe – Polyene	493
16.6.6	Ethin	493
16.6.7	Die homologe Reihe der Alkine	494
16.6.8	Systematische Benennung der Alkine	494
16.7	Cyclische Kohlenwasserstoffe	495
16.7.1	Alicyclische Kohlenwasserstoffe	495
16.8	Sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe	497
16.8.1	Alkanole	497
16.8.2	Ether	498
16.8.3	Aldehyde und Ketone	498
16.8.4	Carbonsäuren	499
16.9	Amine	501
Aufgaben zu Kapitel 16		502
17	Reaktionen organischer Präparate	503
17.1	Additionsreaktionen an C–C-Mehrfachbindungen	503
17.1.1	Struktur der Alkene	503
17.1.2	Reaktionen der Alkene	503
17.1.3	Reaktionen der Alkine	512
17.2	Reaktionen aromatischer Verbindungen	514
17.2.1	Struktur des Benzols und Aromatizität	514
17.2.2	Elektrophile aromatische Substitution und Folgereaktionen	516
17.2.3	Zweit- und Mehrfachsubstitution	523
17.2.4	Reaktionen von Diazoniumverbindungen	529
17.2.5	Nucleophile aromatische Substitution	532
17.3	Substitution und Eliminierung	533
17.3.1	Substitutionsreaktionen der Halogenalkane	534
17.3.2	Eliminierungsreaktionen der Halogenalkane	541
17.3.3	Substitutionsreaktionen der Alkohole	543
17.3.4	Eliminierungsreaktionen von Alkoholen	544
17.3.5	Oxidation von Alkoholen	545
17.3.6	Reaktionen der Amine	546
17.3.7	Reaktionen der Ether und Oxirane (Epoxide)	547
17.4	Carbonylverbindungen	549
17.4.1	Reaktionen der Carbonsäuren und deren Derivate	549
17.4.2	Reaktionen der Aldehyde und Ketone	557

17.5	Stereochemie organischer Stoffe	564
17.5.1	Asymmetrisch substituierte Kohlenstoffatome	565
17.5.2	Optische Aktivität	566
17.5.3	Verbindungen mit mehreren chiralen Zentren	567
17.6	Makromoleküle	569
17.6.1	Natürliche Makromoleküle	570
17.6.2	Synthetische Makromoleküle	571
17.6.3	Synthetisch veränderte Naturstoffe	576
Aufgaben zu Kapitel 17		578
18	Chromatografie	579
18.1	Physikalisch-chemische Grundlagen	579
18.2	Flüssigchromatografie in Säulen	582
18.3	Dünnschichtchromatografie (DC)	593
18.4	Gaschromatografie GC	599
18.4.1	Trärgase	599
18.4.2	Probenaufgabe	602
18.4.3	Injektionssysteme	604
18.4.4	Säulenofen und Säulen	606
18.4.5	Detektoren	612
18.4.6	Fehlersuche und Optimierung	617
18.5	Hochleistungs-Flüssigkeits-Chromatografie HPLC	619
18.5.1	Eluentenförderung	619
18.5.2	Injektionssystem	621
18.5.3	Säulen und Trennung	622
18.5.4	Detektion	626
18.5.5	Fehlersuche	628
18.6	Spezielle chromatografische Methoden	629
18.6.1	Ionenchromatografie	629
18.6.2	Elektrophorese	632
Aufgaben zu Kapitel 18		634
19	Spektroskopie und Spektrometrie	635
19.1	Definition von Spektroskopie und Spektrometrie	635
19.2	Elektromagnetische Strahlung	636
19.2.1	Typische Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen	636
19.2.2	Unterschiedliche Eigenschaften elektromagnetischer Strahlen	637
19.3	Erzeugung elektromagnetischer Strahlung	639
19.3.1	Kontinuierliche Spektren	639
19.3.2	Linienpektren von Atomen und Ionen	641
19.3.3	Bandenspektren von Molekülen	643
19.4	Fotometrie	643
19.4.1	Aufbau und Funktion von Fotometern	643
19.4.2	Physikalische Vorgänge	645
19.4.3	Auswahl der Wellenlänge	645
19.4.4	Auswahl geeigneter Küvetten und Lösemittel	646
19.4.5	<i>Bouguer-Lambert-Beer-Gesetz</i>	647
19.4.6	Fotometrische Analyse	649
19.5	Atomabsorptionsspektrometrie	651
19.5.1	Phänomen der Atomabsorption	651
19.5.2	Allgemeiner Aufbau eines Atomabsorptionsspektrometers	653
19.5.3	Strahlungsquelle	654
19.5.4	Atomisator	656

19.5.5	Monochromator	661
19.5.6	Detektor	661
19.5.7	Charakteristische Konzentration und charakteristische Masse	662
19.5.8	Spektrale Interferenzen: Untergrund und Untergrundkompensation	663
19.5.9	Störungen durch Überlagerung von Absorptionslinien	668
19.5.10	Störungen durch thermisch stabile Analytverbindungen	668
19.5.11	Störungen durch Ionisation	669
19.5.12	Matrix-Modifizier	670
19.6	Emissionsspektrometrie	671
19.6.1	Anregungsquellen in der Emissionsspektrometrie	672
19.6.2	Aerosolzerzeugung in der ICP-OES-Technik	676
19.6.3	Optiken der Emissionsspektrometrie	678
19.6.4	Plasmabetrachtung	680
19.6.5	Linienauswahl in der ICP-OES	682
19.6.6	Weitere Störungen in der ICP-OES-Technik und deren Beseitigung	683
19.6.7	Auswahl eines internen Standards für die ICP-OES	688
19.7	ICP-MS	689
19.7.1	Ionenbildung im Plasma	689
19.7.2	Ionentransfer vom Plasma in den Massenanalysator	690
19.7.3	Massenanalysator in der ICP-MS	690
19.7.4	Auswahl geeigneter Ionenmassen	692
19.7.5	Reduzierung polyatomarer Interferenzen bei ICP-MS	694
19.7.6	Problem von Salzfracht und Blindwerten bei ICP-MS	696
19.7.7	Interne Standards in der ICP-MS	697
19.8	Röntgenfluoreszenzanalyse	698
19.8.1	Erzeugung von Röntgenstrahlung	698
19.8.2	Röntgenlinien und deren vereinfachte Nomenklatur	699
19.8.3	Aufbau eines Röntgenfluoreszenzanalysators	700
19.8.4	Matrixeffekte bei der RFA	702
19.8.5	Probenvorbereitung	703
19.9	Refraktometrie	704
Aufgaben zu Kapitel 19.		706
20	Strukturaufklärung	707
20.1	Historische Strukturaufklärung	707
20.2	Moderne Strukturaufklärung	708
20.3	Elementaranalyse zur Ermittlung der Verhältnisformel	709
20.3.1	Aufbau und Funktion moderner CHNS-O-Analysatoren	709
20.3.2	Bestimmung anderer Elemente mit der Elementaranalyse	710
20.3.3	Systematische Ermittlung der Verhältnisformel	710
20.3.4	Berechnung des Doppelbindungsäquivalents	713
20.4	Massenspektrometrie zur Strukturaufklärung	713
20.4.1	Ionenquelle	714
20.4.2	Massenanalysatoren	714
20.4.3	Detektoren in Massenspektrometern	718
20.4.4	Vakuum und mittlere freie Weglänge	718
20.4.5	Begriffe der Massenspektrometrie	719
20.4.6	Auflösung in der Massenspektrometrie	721
20.4.7	Bestimmung der Summenformel	722
20.4.8	Fragmentierungsregeln	729
20.5	Infrarot-Spektroskopie	736
20.5.1	Definition von Schwingungen	736
20.5.2	Harmonischer Oszillator	736
20.5.3	Anharmonischer Oszillator in der Quantenmechanik	737
20.5.4	Voraussetzung für die Absorption infraroter Strahlung	739

20.5.5	Aufbau und Funktion eines klassischen IR-Spektrometers	740
20.5.6	<i>Fourier</i> -Transformations-IR-Spektroskopie	740
20.5.7	Probenvorbereitung in der IR-Spektroskopie	742
20.5.8	Darstellung von IR-Spektren	743
20.5.9	Freiheitsgrade	743
20.5.10	Schwingungsarten	744
20.5.11	Charakteristische IR-Banden in der Strukturaufklärung	745
20.5.12	Interpretation von IR-Spektren	749
20.6	<i>Raman</i>-Spektroskopie	751
20.6.1	<i>Raman</i> -aktive Molekül-Schwingungen	751
20.6.2	Messung eines <i>Raman</i> -Spektrums	752
20.6.3	Physikalische Vorgänge bei der <i>Raman</i> -Streuung	753
20.7	Kernspinresonanzspektroskopie	754
20.7.1	Kernspin und magnetisches Moment	754
20.7.2	Orientierung im Magnetfeld	755
20.7.3	Besetzungsunterschied, Sättigung und Relaxation	755
20.7.4	NMR-Gerätetechnik	756
20.7.5	Lösemittel und Probenvorbereitung in der NMR-Spektroskopie	758
20.7.6	Abschirmung	758
20.7.7	Entschirmung	759
20.7.8	Nullpunkt der NMR-Skala	759
20.7.9	Definition der chemischen Verschiebung	759
20.7.10	^1H -NMR-Spektrendarstellung	760
20.7.11	Chemische Verschiebung – induktive Effekte	760
20.7.12	Chemische Verschiebung – Anisotropie-Effekte	761
20.7.13	Absolute Signalintensität	763
20.7.14	Relative Signalintensität	763
20.7.15	Multiplizität	763
20.7.16	Spektren nullter, erster oder höherer Ordnung	766
20.7.17	Ableitung von Strukturinformationen mithilfe der Kopplungskonstanten	767
20.7.18	Kombination von Intensität, Verschiebung und Multiplizität	768
20.7.19	Breite Singulets in ^1H -NMR-Spektren	769
20.7.20	H-D-Austauschexperiment	770
20.7.21	Vorgehen zur Interpretation eines ^1H -NMR-Spektrums erster Ordnung	771
20.7.22	Klassische ^{13}C -NMR-Spektroskopie	772
20.7.23	^1H -breitbandenkoppelte ^{13}C -NMR-Spektroskopie	773
20.7.24	Interpretation von ^{13}C -NMR-Spektren	773
20.7.25	DEPT-Spektren	775
20.7.26	2D-NMR-Technik	776
20.8	Kombinierte Strukturaufklärung	777
Aufgaben zu Kapitel 20		782

21 Grundchemikalien und Gebrauchsmetalle **783**

21.1	Ammoniak	784
21.1.1	Eigenschaften von Ammoniakgas und Ammoniakwasser	784
21.1.2	Herstellung von Ammoniak nach dem <i>Haber-Bosch</i> -Verfahren	785
21.1.3	Ammoniumsalze	786
21.2	Salpetersäure	787
21.2.1	Eigenschaften von Salpetersäure	787
21.2.2	Herstellung von Salpetersäure nach dem <i>Ostwald</i> -Verfahren	788
21.3	Schwefelsäure	789
21.3.1	Eigenschaften von Schwefelsäure	789
21.3.2	Herstellung von Schwefelsäure nach dem Doppelkontakt-Verfahren	790

21.4	Salzsäure	792
21.4.1	Eigenschaften von Salzsäure	792
21.4.2	Herstellung von Salzsäure	793
21.5	Natronlauge	793
21.5.1	Eigenschaften von Natriumhydroxid und Natronlauge	794
21.6	Natriumcarbonat	795
21.7	Methanol	795
21.7.1	Eigenschaften des Methanols	795
21.7.2	Methanol-Synthese	796
21.8	Aluminium	797
21.8.1	Eigenschaften des Aluminiums	797
21.8.2	Herstellung von Aluminium	798
21.9	Eisen	798
21.9.1	Eigenschaften des Eisens	798
21.9.2	Herstellung und Umwandlung von Eisen	799
Aufgaben zu Kapitel 21		801
22	Elektrochemie	803
22.1	Elektrochemische Vorgänge	803
22.1.1	<i>Daniell</i> -Element	805
22.1.2	Elektrodenvorgänge	807
22.1.3	Standardpotentiale und Elektrochemische Spannungsreihe	808
22.1.4	Bezugselektroden	812
22.1.5	<i>Nernst</i> -Gleichung	814
22.2	Galvanische Elemente	817
22.2.1	Primärelemente	818
22.2.2	Sekundärelemente	819
22.2.3	Brennstoffzellen	820
22.3	Elektrolyse	821
22.3.1	Prinzipieller Ablauf	821
22.3.2	Abscheidungspotentiale und Zersetzungsspannung	822
22.3.3	<i>Faraday</i> -Gesetze	824
22.4	Großtechnische Anwendungen	827
22.4.1	Chlor-Alkali-Elektrolyse	827
22.4.2	Kupfer-Raffination	829
22.4.3	Aluminium-Darstellung	830
22.5	Korrosion	830
22.6	Elektrochemische Analyseverfahren	832
22.6.1	Konduktometrie	832
22.6.2	Potentiometrie	833
22.6.3	Amperometrie	836
22.6.4	Voltammetrie	838
22.6.5	Polarografie	840
22.6.6	Coulometrie	840
22.6.7	Elektrogravimetrie	841
Aufgaben zu Kapitel 22		842
A	Liste ausgewählter Gefahrstoffe	843
Sachwortverzeichnis		846
Bildquellenverzeichnis		878
Periodensysteme		879, 880