

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 Heizen79

3.3.3 Vorrichtungen zum Kühlen79

3.4 Fraktionierte Destillation80

3.4.1 Zeitlicher Temperaturverlauf80

3.4.2 Aufbau einer Apparatur zur fraktionierten Destillation81

3.5 Siedediagramme81

3.5.1 Dampfdruck.....81

3.5.2 Zustandsdiagramme83

3.5.3 Dampfdruckdiagramme.....85

3.5.4 Homogene Flüssigkeitsgemische85

3.5.5 Ideale Flüssigkeitsgemische86

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 Kolonnentypen94

3.6.2 Rücklaufverhältnis96

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 Trägerdampfdestillation105

3.7.3 Rektifikation von Mehrstoffgemischen.....106

3.7.4 Rektifikation azeotroper Gemische107

3.7.5 Extraktiv-Rektifikation110

Aufgaben zu Kapitel 3.....111

4 Reinigen von Stoffen.....113

4.1 Trocknen von Stoffen113

4.1.1 Feuchtigkeit.....113

4.1.2 Trocknungsmethoden114

4.1.3 Wahl der geeigneten Trocknungsmethode117

4.1.4 Praktische Durchführung von Trocknungen118

4.2 Entsalzen und Enthärten121

4.2.1 Methoden zur Entsalzung123

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 Sublimation130

4.5 Reinheits- und Qualitätsangaben von Stoffen.....133

Aufgaben zu Kapitel 4.....134

5 Atombau und Periodensystem135

5.1 Wichtige Atommodelle135

5.1.1 *Demokrits* Atomvorstellung135

5.1.2 *Daltons* Atommodell.....135

5.1.3 *Thomsons* Atommodell (Kugelmodell)137

5.1.4 *Rutherfords* Atommodell (Kern-Hülle-Modell)137

5.1.5 Atommodell nach *Bohr* (Schalenmodell)138

5.1.6 Wellenmechanisches Atommodell (Orbitalmodell)141

5.2 Quantenzahlen und Orbitale.....141

5.2.1 Quantenzahlen und *Pauli*-Verbot141

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-Formeln</i>	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

Inhaltsverzeichnis

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 Basen383

13.1 Die Brønsted-Lowry-Theorie der Säuren und Basen383

13.2 Autoprotolyse des Wassers und pH-Wert386

13.3 Säurestärke390

13.3.1 Säure- und Basenkonstanten390

13.3.2 pH-Wert-Berechnungen starker und schwacher Säuren.392

13.3.3 Protolysegrad394

13.3.4 Mehrprotonige Säuren395

13.3.5 Schwache Basen396

13.3.6 Säurestärke der Nichtsauerstoffsäuren397

13.4 Protolysen von Salzen in Wasser397

13.5 Pufferlösungen399

13.6 Säuren und Basen nach Lewis.....403

Aufgaben zu Kapitel 13.....403

14 Volumetrische und gravimetrische Analyse405

14.1 Volumetrische Analyse405

14.1.1 Äquivalenzpunkterkennung406

14.1.2 Maßlösungen409

14.1.3 Titrationstechniken.416

14.1.4 Säure-Base-Titration417

14.1.5 Redoxtitration424

14.1.6 Komplextometrische Titration431

14.1.7 Fällungstitration435

14.1.8 Spezielle Titrationsen.439

14.2 Gravimetrische Analyse447

14.2.1 Gravimetrische Fällungsanalyse447

14.2.2 Feuchtigkeits- und Trockengehalt, Glührückstand.....450

14.2.3 Thermogravimetrie.....451

14.2.4 Elektrogravimetrie452

Aufgaben zu Kapitel 14.....453

15 Energie und Entropie455

15.1 Die Natur der Energie.....455

15.1.1 Kinetische Energie455

15.1.2 Potentielle Energie.....456

15.2 Innere Energie und Enthalpie457

15.2.1 Innere Energie458

15.2.2 Reaktionsenthalpie458

15.2.3 Standardenthalpien462

15.2.4 Enthalpien verschiedener Prozesse464

15.3 Entropie und freie Enthalpie466

15.3.1 Spontane Prozesse466

15.3.2 Entropie467

15.3.3 Freie Reaktionsenthalpie und Gesamtentropie.....470

15.3.4 Freie Standardbildungsenthalpie472

15.3.5 Temperaturabhängigkeit der freien Enthalpie.....474

15.3.6 Freie Enthalpie und Gleichgewichtskonstanten475

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 Flüssigkeitschromatografie in Säulen 582

18.3 Dünnschichtchromatografie (DC) 593

18.4 Gaschromatografie GC 599

18.4.1 Trägergase 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 Linienspektren 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 *Bouguer-Lambert-Beer*-Gesetz 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	Aerosolerzeugung 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-Spektrometers740

20.5.6 *Fourier*-Transformations-IR-Spektroskopie740

20.5.7 Probenvorbereitung in der IR-Spektroskopie742

20.5.8 Darstellung von IR-Spektren743

20.5.9 Freiheitsgrade743

20.5.10 Schwingungsarten744

20.5.11 Charakteristische IR-Banden in der Strukturaufklärung745

20.5.12 Interpretation von IR-Spektren749

20.6 *Raman*-Spektroskopie751

20.6.1 *Raman*-aktive Molekül-Schwingungen751

20.6.2 Messung eines *Raman*-Spektrums752

20.6.3 Physikalische Vorgänge bei der *Raman*-Streuung753

20.7 Kernspinresonanzspektroskopie754

20.7.1 Kernspin und magnetisches Moment754

20.7.2 Orientierung im Magnetfeld755

20.7.3 Besetzungsunterschied, Sättigung und Relaxation755

20.7.4 NMR-Gerätetechnik756

20.7.5 Lösemittel und Probenvorbereitung in der NMR-Spektroskopie758

20.7.6 Abschirmung758

20.7.7 Entschirmung759

20.7.8 Nullpunkt der NMR-Skala759

20.7.9 Definition der chemischen Verschiebung759

20.7.10 ¹H-NMR-Spektrendarstellung760

20.7.11 Chemische Verschiebung – induktive Effekte760

20.7.12 Chemische Verschiebung – Anisotropie-Effekte761

20.7.13 Absolute Signalintensität763

20.7.14 Relative Signalintensität763

20.7.15 Multiplizität763

20.7.16 Spektren nullter, erster oder höherer Ordnung766

20.7.17 Ableitung von Strukturinformationen mithilfe der Kopplungskonstanten767

20.7.18 Kombination von Intensität, Verschiebung und Multiplizität768

20.7.19 Breite Singulett in ¹H-NMR-Spektren769

20.7.20 H-D-Austauschexperiment770

20.7.21 Vorgehen zur Interpretation eines ¹H-NMR-Spektrums erster Ordnung771

20.7.22 Klassische ¹³C-NMR-Spektroskopie772

20.7.23 ¹H-breitbandentkoppelte ¹³C-NMR-Spektroskopie773

20.7.24 Interpretation von ¹³C-NMR-Spektren773

20.7.25 DEPT-Spektren775

20.7.26 2D-NMR-Technik776

20.8 Kombinierte Strukturaufklärung777

Aufgaben zu Kapitel 20.782

21 Grundchemikalien und Gebrauchsmetalle783

21.1 Ammoniak.784

21.1.1 Eigenschaften von Ammoniakgas und Ammoniakwasser784

21.1.2 Herstellung von Ammoniak nach dem *Haber-Bosch*-Verfahren785

21.1.3 Ammoniumsalze786

21.2 Salpetersäure787

21.2.1 Eigenschaften von Salpetersäure787

21.2.2 Herstellung von Salpetersäure nach dem *Ostwald*-Verfahren788

21.3 Schwefelsäure789

21.3.1 Eigenschaften von Schwefelsäure789

21.3.2 Herstellung von Schwefelsäure nach dem Doppelkontakt-Verfahren790

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