

| Inhaltsverzeichnis

Vorwort *XVII*

Über die Autoren *XXI*

Danksagungen *XXIII*

Über dieses Buch *XXV*

Teil 1 Gleichgewicht *1*

1 Die Eigenschaften der Gase *3*

- 1.1 Das ideale Gas *3*
- 1.1.1 Die Zustände der Gase *3*
- 1.1.2 Die Gasgesetze *7*
- A1-1 Die Gasgesetze und das Wetter *11*
- 1.2 Reale Gase *14*
- 1.2.1 Zwischenmolekulare Wechselwirkungen *14*
- 1.2.2 Die van-der-Waals'sche Gleichung *17*
- 1.2.3 Das Prinzip der übereinstimmenden Zustände *21*

2 Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik *29*

- 2.1 Grundbegriffe *29*
- 2.1.1 Arbeit, Wärme und Energie *30*
- 2.1.2 Innere Energie *31*
- 2.1.3 Volumenarbeit *34*
- 2.1.4 Wärmeübergänge *39*
- 2.1.5 Die Enthalpie *42*
- A2-1 Die dynamische Differenzialkalorimetrie *43*
- 2.1.6 Adiabatische Änderungen *49*
- 2.2 Thermochemie *51*
- 2.2.1 Die Standardenthalpie *51*
- A2-2 Energiespeicher im Körper *55*
- 2.2.2 Standard-Bildungsenthalpien *57*
- 2.2.3 Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsenthalpien *59*
- 2.3 Zustandsfunktionen und totale Differenziale *60*
- 2.3.1 Totale und nicht totale Differenziale *60*
- 2.3.2 Änderungen der Inneren Energie *62*
- 2.3.3 Der Joule-Thomson-Effekt *66*

3 Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik *81*

- 3.1 Die Richtung freiwilliger Prozesse *82*
- 3.1.1 Die Dissipation der Energie *82*
- 3.1.2 Die Entropie *83*
- A3-1 Kälteerzeugung *90*
- 3.1.3 Entropieänderungen bei speziellen Prozessen *92*
- 3.1.4 Der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik *98*
- 3.2 Die Beschränkung auf das System *100*
- 3.2.1 Freie Energie und Freie Enthalpie *101*

3.2.2	Freie Standardreaktionsenthalpien	106
3.3	Die Verbindung von Erstem und Zweitem Hauptsatz	109
3.3.1	Die Fundamentalgleichung	109
3.3.2	Eigenschaften der Inneren Energie	110
3.3.3	Eigenschaften der Freien Enthalpie	112
4	Physikalische Umwandlungen reiner Stoffe	127
4.1	Phasendiagramme	127
4.1.1	Die Stabilität von Phasen	127
4.1.2	Phasengrenzen	128
A4-1	Überkritische Fluide	129
4.1.3	Drei typische Phasendiagramme	130
4.2	Die Stabilität von Phasen: Phasenübergänge	132
4.2.1	Das thermodynamische Gleichgewichtskriterium	132
4.2.2	Die Abhängigkeit der Stabilität von den Bedingungen	133
4.2.3	Die Lage der Phasengrenzlinien	136
4.2.4	Die Klassifikation der Phasenübergänge nach Ehrenfest	139
5	Die Eigenschaften einfacher Mischungen	147
5.1	Die thermodynamische Beschreibung von Mischungen	147
5.1.1	Partielle molare Größen	147
5.1.2	Thermodynamik von Mischphasen	152
5.1.3	Das chemische Potenzial flüssiger Phasen	155
A5-1	Die Löslichkeit von Gasen und die Atmung	159
5.2	Die Eigenschaften von Lösungen	160
5.2.1	Flüssige Mischungen	160
5.2.2	Kolligative Eigenschaften	162
A5-2	Die Bedeutung der Osmose in der Physiologie und Biochemie	169
5.3	Aktivitäten	170
5.3.1	Die Aktivität des Lösungsmittels	171
5.3.2	Die Aktivität des gelösten Stoffs	172
5.3.3	Aktivitäten in regulären Lösungen	175
5.3.4	Aktivitäten von Ionen in Lösung	176
6	Phasendiagramme	189
6.1	Phasen, Komponenten, Freiheitsgrade	189
6.1.1	Definitionen	189
6.1.2	Die Phasenregel	192
6.2	Zweikomponentensysteme	194
6.2.1	Die Druckabhängigkeit der Zusammensetzung: Dampfdruckdiagramme	194
6.2.2	Die Temperaturabhängigkeit der Zusammensetzung: Siedediagramme	198
6.2.3	Flüssig/Flüssig-Phasendiagramme	200
6.2.4	Flüssig/Fest-Phasendiagramme	205
A6-1	Flüssigkristalle	208
A6-2	Ultrareinheit und kontrollierte Verunreinigung	209
6.3	Dreikomponentensysteme	210
6.3.1	Phasendiagramme in Dreieckskoordinaten	210
6.3.2	Begrenzt mischbare Flüssigkeiten	212
6.3.3	Der Einfluss gelöster Salze	214
7	Das Chemische Gleichgewicht	225
7.1	Freiwillig ablaufende chemische Reaktionen	225
7.1.1	Das Minimum der Freien Enthalpie	225
7.1.2	Die Beschreibung des chemischen Gleichgewichts	227

- 7.2 Die Verschiebung des Gleichgewichts bei Änderung der Reaktionsbedingungen 235
- 7.2.1 Der Einfluss des Druckes auf das Gleichgewicht 235
- 7.2.2 Der Einfluss der Temperatur auf das Gleichgewicht 237
- A7-1 Die Gewinnung von Metallen aus oxidischen Erzen 240
- 7.3 Elektrochemie im Gleichgewicht 241
- 7.3.1 Elektrodenreaktionen und Elektroden 242
- 7.3.2 Zelltypen 243
- 7.3.3 Die Zellspannung 244
- 7.3.4 Standard-Elektrodenpotenziale 248
- 7.4 Anwendungen der Standardpotenziale 250
- 7.4.1 Die elektrochemische Spannungsreihe 250
- A7-2 Energieumwandlung in lebenden Zellen 251
- 7.4.2 Thermodynamische Funktionen aus Zellpotenzialen 258
- 7.5 Säuren und Basen 260
- 7.5.1 Säure-Base-Gleichgewichte in wässriger Lösung 260
- 7.5.2 Säure-Base-Titrationen 266
- 7.5.3 Puffer und Indikatoren 271

Teil 2 Struktur 281

8 Quantentheorie: Einführung und Grundlagen 283

- 8.1 Die Anfänge der Quantenmechanik 283
- 8.1.1 Das Versagen der klassischen Physik 284
- 8.1.2 Der Welle-Teilchen-Dualismus 289
- A8-1 Elektronenmikroskopie 293
- 8.2 Die Dynamik mikroskopischer Systeme 294
- 8.2.1 Die Schrödinger-Gleichung 294
- 8.2.2 Die Born'sche Interpretation der Wellenfunktion 296
- 8.3 Prinzipien der Quantenmechanik 301
- 8.3.1 Die Informationen in der Wellenfunktion 301
- 8.3.2 Operatoren, Eigenwerte und Eigenfunktionen 302
- 8.3.3 Superpositionen und Erwartungswerte 307
- 8.3.4 Die Postulate der Quantenmechanik 313

9 Quantentheorie: Methoden und Anwendungen 319

- 9.1 Translation 319
- 9.1.1 Das Teilchen im Kasten 320
- 9.1.2 Bewegung in zwei und mehr Dimensionen 326
- 9.1.3 Der Tunneleffekt 328
- A9-1 Rastersondenmikroskopie 331
- 9.2 Schwingung 333
- 9.2.1 Die Energieniveaus 333
- 9.2.2 Die Wellenfunktionen 334
- 9.3 Rotation 340
- 9.3.1 Rotation in zwei Dimensionen: Teilchen auf einem Ring 340
- 9.3.2 Rotation in drei Dimensionen: Teilchen auf einer Kugel 344
- A9-2 Quantenpunkte 350
- 9.3.3 Der Spin 351
- 9.4 Näherungsverfahren 353
- 9.4.1 Zeitunabhängige Störungstheorie 353
- 9.4.2 Zeitabhängige Störungstheorie 355

10	Atomstruktur und Atomspektren	365
10.1	Struktur und Spektren wasserstoffähnlicher Atome	365
10.1.1	Die Struktur wasserstoffähnlicher Atome	366
10.1.2	Atomorbitale und ihre Energien	371
10.1.3	Spektroskopische Übergänge und Auswahlregeln	379
10.2	Die Struktur von Mehrelektronenatomen	381
10.2.1	Die Orbitalnäherung	381
10.2.2	Selbstkonsistente Orbitale	389
10.3	Die Spektren komplexer Atome	391
A10-1	Spektroskopie von Sternen	391
10.3.1	Quantendefekte und Ionisierung	392
10.3.2	Singulett- und Triplettzustände	392
10.3.3	Spin-Bahn-Kopplung	393
10.3.4	Termsymbole und Auswahlregeln	397
11	Molekülstruktur	409
11.1	Die Born-Oppenheimer-Näherung	409
11.2	Die Valenzbindungstheorie	410
11.2.1	Homoatomare zweiatomige Moleküle	410
11.2.2	Vielatomige Moleküle	412
11.3	Die Molekülorbitaltheorie	415
11.3.1	Das Wasserstoff-Molekülion	416
11.3.2	Homoatomare zweiatomige Moleküle	421
11.3.3	Heteroatomare zweiatomige Moleküle	427
A11-1	Die biochemische Reaktivität von O_2 , N_2 und NO	433
11.4	Molekülorbitale in mehratomigen Molekülen	435
11.4.1	Die Hückel-Näherung	435
11.4.2	Quantenchemie mit Computern	441
11.4.3	Die Vorhersage molekularer Eigenschaften	446
12	Molekülsymmetrie	455
12.1	Die Symmetrieelemente von Körpern	455
12.1.1	Symmetrieelemente und Symmetrieelemente	456
12.1.2	Die Klassifikation von Molekülen nach ihrer Symmetrie	457
12.1.3	Konsequenzen der Molekülsymmetrie	462
12.2	Symmetrie in der MO-Theorie und der Spektroskopie	463
12.2.1	Charaktertafeln und Symmetriebezeichnungen	464
12.2.2	Verschwindende Integrale und Orbitalüberlappung	470
12.2.3	Verschwindende Integrale und Auswahlregeln	475
13	Molekülspektroskopie 1: Rotations- und Schwingungsspektren	483
13.1	Allgemeine Merkmale spektroskopischer Methoden	483
13.1.1	Experimentelle Grundlagen	484
13.1.2	Die Intensität von Spektrallinien	485
13.1.3	Die Breite von Spektrallinien	489
13-1	Rotations- und Schwingungsspektroskopie des interstellaren Raums	492
13.2	Reine Rotationsspektren	493
13.2.1	Das Trägheitsmoment	493
13.2.2	Die Energieniveaus der Rotation	496
13.2.3	Rotationsübergänge	500
13.2.4	Rotations-Ramanspektren	503
13.2.5	Kernstatistik und Rotationszustände	505
13.3	Die Schwingung zweiatomiger Moleküle	506
13.3.1	Molekülschwingungen	506
13.3.2	Auswahlregeln für Schwingungsübergänge	508

- 13.3.3 Anharmonizität 510
- 13.3.4 Rotationsschwingungsspektren 512
- 13.3.5 Schwingungs-Ramanspektren zweiatomiger Moleküle 514
- 13.4 Die Schwingungen mehratomiger Moleküle 515
 - 13.4.1 Normalschwingungen 515
 - 13.4.2 Infrarot-Absorptionsspektren mehratomiger Moleküle 517
- A13-2 Die globale Erwärmung 518
- 13.4.3 Schwingungs-Ramanspektren mehratomiger Moleküle 519
- 13-3 Schwingungsmikroskopie 521

- 14 Molekülspektroskopie 2: Elektronenübergänge 539**
 - 14.1 Die Eigenschaften elektronischer Übergänge 539
 - 14.1.1 Elektronenspektren zweiatomiger Moleküle 540
 - 14.1.2 Rotationsstruktur 545
 - 14.1.3 Elektronenspektren mehratomiger Moleküle 546
 - 14-1 Der Sehvorgang 549
 - 14.2 Das Schicksal angeregter Zustände 551
 - 14.2.1 Fluoreszenz und Phosphoreszenz 551
 - A14-2 Fluoreszenzmikroskopie 553
 - 14.2.2 Dissoziation und Prädissoziation 554
 - 14.3 Laser 554
 - 14.3.1 Das Funktionsprinzip von Lasern 554
 - 14.3.2 Laseranwendungen in der Chemie 558

- 15 Molekülspektroskopie 3: Magnetische Resonanz 573**
 - 15.1 Elektronen und Kerne in Magnetfeldern 573
 - 15.1.1 Die Energien von Elektronen in einem Magnetfeld 573
 - 15.1.2 Die Energien von Kernen in einem Magnetfeld 575
 - 15.2 Magnetresonanzspektroskopie 576
 - 15.3 Kernspinresonanz 577
 - 15.3.1 Das NMR-Spektrometer 577
 - 15.3.2 Die chemische Verschiebung 578
 - 15.3.3 Die Feinstruktur des Spektrums 584
 - 15.3.4 Konformationsumwandlungen und Austauschprozesse 592
 - 15.4 Pulstechniken in der NMR 594
 - 15.4.1 Der Vektor der Magnetisierung 594
 - 15.4.2 Spinrelaxation 597
 - A15-1 Magnetresonanztomographie 600
 - 15.4.3 Der Kern-Overhauser-Effekt 602
 - 15.4.4 Zweidimensionale Kernresonanz 604
 - 15.4.5 Kernresonanz in Festkörpern 609
 - 15.5 Elektronenspinresonanz 610
 - 15.5.1 Der g-Faktor 611
 - 15.5.2 Die Hyperfeinstruktur 612
 - A15-2 Spinsonden 615

- 16 Statistische Thermodynamik 1: Grundlagen 623**
 - 16.1 Die Verteilung von Molekülzuständen 624
 - 16.1.1 Konfigurationen und Gewichte 624
 - 16.1.2 Die molekulare Zustandssumme 627
 - A16-1 Der Helix-Knäuel-Übergang in Polypeptiden 634
 - 16.2 Innere Energie und Entropie 636
 - 16.2.1 Die Innere Energie 636
 - 16.2.2 Die statistische Definition der Entropie 639
 - 16.3 Die kanonische Zustandssumme 641
 - 16.3.1 Das kanonische Ensemble 641

16.3.2	Die thermodynamische Information in der Zustandssumme	642
16.3.3	Unabhängige Moleküle	643
17	Statistische Thermodynamik 2: Anwendungen	655
17.1	Grundlegende Beziehungen	655
17.1.1	Die Berechnung thermodynamischer Funktionen	655
17.1.2	Die molekulare Zustandssumme	657
17.2	Anwendungen der statistischen Thermodynamik	665
17.2.1	Mittlere Energien	665
17.2.2	Wärmekapazitäten	667
17.2.3	Zustandsgleichungen	669
17.2.4	Wechselwirkungen in Flüssigkeiten	671
17.2.5	Nullpunktsentropien	675
17.2.6	Gleichgewichtskonstanten	677
18	Wechselwirkungen zwischen Molekülen	687
18.1	Elektrische Eigenschaften von Molekülen	687
18.1.1	Elektrische Dipolmomente	687
18.1.2	Permanente und induzierte Dipolmomente	688
18.1.3	Die Polarisierbarkeit	691
18.1.4	Die Dielektrizitätskonstante	693
18.2	Wechselwirkungen zwischen Molekülen	695
18.2.1	Wechselwirkungen zwischen Dipolen	696
18.2.2	Abstoßende Beiträge: Die Gesamtwechselwirkung	704
A18-1	Molekulare Erkennung und Wirkstoffdesign	705
18.3	Gase und Flüssigkeiten	708
18.3.1	Wechselwirkungen in Gasen	708
18.4	Die Grenzfläche Flüssigkeit-Gas	709
18.4.1	Die Oberflächenspannung	710
18.4.2	Gekrümmte Oberflächen	711
18.4.3	Die Kapillarwirkung	712
18.4.4	Kondensation	713
19	Materialien 1: Makromoleküle und Selbstorganisation	723
19.1	Größe und Form von Makromolekülen	723
19.1.1	Mittlere Molmassen	724
19.1.2	Massenspektrometrie	726
19.1.3	Laser-Lichtstreuung	728
19.1.4	Ultrazentrifugation	732
A19-1	Gelelektrophorese in Genom- und Proteomforschung	735
19.1.5	Viskosität	737
19.2	Struktur und Dynamik	739
19.2.1	Die Hierarchie der Strukturen	739
19.2.2	Statistische Knäuel	740
19.2.3	Struktur und Stabilität von synthetischen Polymeren	745
A19-2	Leitfähige Polymere	747
19.2.4	Die Struktur von Proteinen	747
19.2.5	Strukturen höherer Ordnung	751
19.2.6	Die Struktur der Nucleinsäuren	752
19.2.7	Die Stabilität von Proteinen und Nucleinsäuren	753
19.3	Selbstorganisation	754
19.3.1	Kolloide	755
19.3.2	Struktur und Stabilität von Kolloiden	756
19.3.3	Micellen und biologische Membranen	758
19.3.4	Oberflächenschichten	761
A19-3	Nanofabrikation mit selbstorganisierenden Monolagen	764

20	Materialien 2: Der feste Zustand	773
20.1	Das Kristallgitter	773
20.1.1	Gitter und Elementarzellen	773
20.1.2	Die Identifikation von Gitterebenen	776
20.1.3	Strukturuntersuchungen	778
20.1.4	Das Bragg'sche Gesetz	780
A20-1	Röntgenkristallographie biologischer Makromoleküle	787
20.1.5	Neutronen- und Elektronenbeugung	790
20.2	Die Struktur von Kristallen	791
20.2.1	Metallische Festkörper	792
20.2.2	Ionische Festkörper	794
20.2.3	Molekulare und kovalente Festkörper	797
20.3	Die Eigenschaften von Festkörpern	798
20.3.1	Mechanische Eigenschaften	798
20.3.2	Elektrische Eigenschaften	801
A20-2	Nanodrähte	805
20.3.3	Optische Eigenschaften	806
20.3.4	Magnetische Eigenschaften	811
20.3.5	Supraleiter	815
Teil 3	Veränderung	825
21	Die Bewegung von Molekülen	827
21.1	Die Bewegung von Molekülen in Gasen	827
21.1.1	Die kinetische Gastheorie	828
A21-1	Die Sonne als Ball aus idealem Gas	835
21.1.2	Stöße mit Wänden und Oberflächen	835
21.1.3	Die Geschwindigkeit der Effusion	836
21.1.4	Transporteigenschaften idealer Gase	837
21.1.5	Die Transportkoeffizienten	839
21.2	Die Bewegung von Molekülen in Flüssigkeiten	841
21.2.1	Experimentelle Ergebnisse	842
21.2.2	Die Leitfähigkeit von Elektrolytlösungen	842
21.2.3	Ionenbeweglichkeiten	845
21.2.4	Leitfähigkeit und Wechselwirkungen zwischen Ionen	850
A21-2	Ionenkanäle und Ionenpumpen	851
21.3	Diffusion	854
21.3.1	Die thermodynamische Sicht	854
21.3.2	Die Diffusionsgleichung	858
21-3	Der Transport ungeladener Teilchen durch biologische Membranen	861
21.3.3	Diffusionswahrscheinlichkeiten	862
21.3.4	Die statistische Sicht	863
22	Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen	875
22.1	Empirische Reaktionskinetik	875
22.1.1	Experimentelle Methoden	876
22.1.2	Die Reaktionsgeschwindigkeit	878
22.1.3	Integrierte Geschwindigkeitsgesetze	883
22.1.4	Reaktionen in der Nähe des Gleichgewichts	889
22.1.5	Die Temperaturabhängigkeit von Reaktionsgeschwindigkeiten	893
22.2	Theorie der Reaktionskinetik	896
22.2.1	Elementarreaktionen	896
22.2.2	Aufeinander folgende Elementarreaktionen	897

A22-1	Die Kinetik des Helix-Knäuel-Übergangs in Polypeptiden	905
22.2.3	Unimolekulare Reaktionen	907
23	Die Kinetik zusammengesetzter Reaktionen	921
23.1	Kettenreaktionen	921
23.1.1	Geschwindigkeitsgesetze von Kettenreaktionen	921
23.1.2	Explosionen	924
23.2	Polymerisationen	926
23.2.1	Schrittweise Polymerisation	926
23.2.2	Kettenpolymerisation	928
23.3	Homogene Katalyse	930
23.3.1	Merkmale homogen-katalytischer Reaktionen	931
23.3.2	Enzymkatalysierte Reaktionen	932
23.4	Photochemie	937
23.4.1	Kinetik photochemischer und photophysikalischer Prozesse	938
23-1	Chemie des Ozons in der Stratosphäre	945
A23-1	Chemie des Ozons in der Stratosphäre	945
A23-2	Lichtsammelkomplexe in der Photosynthese grüner Pflanzen	948
23.4.2	Zusammengesetzte photochemische Reaktionen	950
A23-3	Photodynamische Therapie	952
24	Molekulare Reaktionsdynamik	963
24.1	Reaktive Stöße	963
24.1.1	Die Stoßtheorie	964
24.1.2	Diffusionskontrollierte Reaktionen	970
24.1.3	Die Stoffbilanzgleichung	973
24.2	Die Theorie des Übergangszustands	975
24.2.1	Die Eyring-Gleichung	975
24.2.2	Thermodynamische Aspekte	978
24.3	Die Dynamik molekularer Stöße	981
24.3.1	Reaktive Stöße	981
24.3.2	Potenzialhyperflächen	982
24.3.3	Theoretische und experimentelle Ergebnisse	983
24.3.4	Die Untersuchung der Reaktionsdynamik mit ultraschnellen Lasermethoden	987
24.4	Elektronentransfer in homogenen Systemen	990
24.4.1	Die Geschwindigkeit der Elektronenübertragung	990
24.4.2	Die theoretische Beschreibung der Elektronenübertragung	992
24.4.3	Experimentelle Ergebnisse	994
A24-1	Elektronenübertragung in Proteinen und Proteinsystemen	996
25	Prozesse an festen Oberflächen	1007
25.1	Wachstum und Struktur von festen Oberflächen	1007
25.1.1	Oberflächenwachstum	1007
25.1.2	Die Zusammensetzung von Oberflächen	1009
25.2	Adsorption an Oberflächen	1015
25.2.1	Physisorption und Chemisorption	1015
25.2.2	Adsorptionsisothermen	1016
25.2.3	Die Geschwindigkeit von Oberflächenprozessen	1021
A25-1	Untersuchungen mit Biosensoren	1025
25.3	Heterogene Katalyse	1026
25.3.1	Mechanismen der heterogenen Katalyse	1027
25.3.2	Katalytische Aktivität von Oberflächen	1028
A25-2	Katalysatoren in der chemischen Industrie	1030
25.4	Prozesse an Elektroden	1032
25.4.1	Die Grenzfläche von Elektrode und Elektrolytlösung	1033
25.4.2	Die Geschwindigkeit der Ladungsübertragung	1035

- 25.4.3 Voltammetrie 1042
- 25.4.4 Elektrolyse 1047
- 25.4.5 Galvanische Zellen unter Belastung 1048
- A25-3 Brennstoffzellen 1049
- 25.4.6 Korrosion 1051
- A25-4 Korrosionsschutz 1052

- Anhang 1 Bezeichnungen, Einheiten, Konventionen 1065**
 - Die Bezeichnungen physikalischer Größen 1065
 - SI-Einheiten 1066
 - Konventionen in diesem Buch 1068

- Anhang 2 Mathematische Grundlagen 1069**
 - A2.1 Grundoperationen 1069
 - A2.1.1 Logarithmen und Exponentialfunktionen 1069
 - A2.1.2 Komplexe Zahlen und Funktionen 1069
 - A2.1.3 Vektoren 1070
 - A2.2 Analysis 1072
 - A2.2.1 Differenziation und Integration 1072
 - A2.2.2 Potenzreihen und Taylor-Entwicklungen 1074
 - A2.2.3 Partielle Ableitungen 1074
 - A2.2.4 Funktionale und Funktionalableitungen 1075
 - A2.2.5 Unbestimmte Multiplikatoren 1077
 - A2.2.6 Differenzialgleichungen 1078
 - A2.3 Statistik und Wahrscheinlichkeit 1081
 - A2.3.1 Zufallsauswahlen 1081
 - A2.3.2 Wahrscheinlichkeitsrechnung 1082
 - A2.4 Matrixalgebra 1083
 - A2.4.1 Addition und Multiplikation von Matrizen 1084
 - A2.4.2 Gleichungssysteme 1085
 - A2.4.3 Eigenwertgleichungen 1085

- Anhang 3 Physikalische Grundlagen 1089**
 - A3.1 Energie 1089
 - A3.1.1 Kinetische und potenzielle Energie 1089
 - A3.1.2 Einheiten der Energie 1089
 - A3.2 Klassische Mechanik 1090
 - A3.2.1 Der Zusammenhang zwischen Trajektorie und Energie 1090
 - A3.2.2 Das zweite Newton'sche Gesetz 1091
 - A3.2.3 Rotationen 1091
 - A3.2.4 Der harmonische Oszillator 1092
 - A3.3 Wellen 1093
 - A3.3.1 Das elektromagnetische Feld 1093
 - A3.3.2 Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung 1094
 - A3.3.3 Beugung 1095
 - A3.3.4 Optische Aktivität 1095
 - A3.4 Elektrostatik 1096
 - A3.4.1 Die Coulomb-Wechselwirkung 1096
 - A3.4.2 Das Coulomb-Potenzial 1097
 - A3.4.3 Die Stärke des elektrischen Feldes 1097
 - A3.4.4 Elektrischer Strom und elektrische Leistung 1098

Anhang 4 Tabellen	1099
Übersicht	1099
Charaktertafeln	1134
Die Gruppen C_1, C_s, C_i	1134
Die Gruppen C_{nv}	1135
Die Gruppen D_n	1136
Die Gruppen D_{nh}	1136
Die kubischen Gruppen	1138
Die Ikosaedergruppe	1138
Lösungen der (a)-Aufgaben	1139
Lösungen der (b)-Aufgaben	1147
Lösungen der „Schwereren Aufgaben“	1155
Sachregister	1167