

Gerd Wedler

Lehrbuch der Physikalischen Chemie

Dritte, durchgesehene Auflage



Inhaltsverzeichnis

<i>Liste der verwendeten Symbole</i>	XXI
<i>Einführung</i>	1
I · Einführung in die physikalisch-chemischen Grundbegriffe und Arbeitsweisen	5
1.1 <i>Einführung in die chemische Thermodynamik</i>	5
1.1.1 System und Umgebung	5
1.1.2 Phase	6
1.1.3 Gleichgewicht	7
1.1.4 Arbeit	8
1.1.5 Temperatur – Nullter Hauptsatz der Thermodynamik	10
1.1.6 Wärmeaustausch und Wärmekapazität	13
1.1.7 Isotherme und adiabatische Prozesse	14
1.1.8 Intensive und extensive Größen	14
1.1.9 Die thermische Zustandsgleichung, das ideale Gasgesetz	15
1.1.10 Mischungen idealer Gase, Partialdruck und Molenbruch	23
1.1.11 Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik und die kalorische Zustandsgleichung	24
1.1.12 Die partiellen Ableitungen von U und H nach T , die molaren Wärmekapazitäten	28
1.1.13 Die partiellen Ableitungen von U und H nach ξ , die Reaktionsenergie und Reaktionsenthalpie	34
1.1.14 Der Heßsche Satz	40
1.1.15 Die Standard-Bildungsenthalpien	42
1.1.16 Die Umsetzung von Wärme und Arbeit bei Volumenänderungen	43
1.1.17 Der Carnotsche Kreisprozeß	53
1.1.18 Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik und die Entropie	57
1.1.19 Die Entropie	66
1.1.20 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.1	72
1.1.21 Literatur zu Abschnitt 1.1	75

1.2	<i>Einführung in die kinetische Gastheorie</i>	76
1.2.1	Das Modell des Gases	76
1.2.2	Kinetische Energie und Temperatur	78
1.2.3	Die molare Wärmekapazität der Gase	79
1.2.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.2	83
1.2.5	Literatur zu Abschnitt 1.2	83
1.3	<i>Einführung in die statistische Thermodynamik</i>	84
1.3.1	Wahrscheinlichkeitsrechnung und Verteilungsfunktion	84
1.3.2	Die Boltzmann-Statistik	88
1.3.3	Innere Energie und Zustandssumme	91
1.3.4	Spezielle Aussagen des Boltzmannschen e-Satzes	92
1.3.5	Die Entropie in der statistischen Betrachtungsweise	92
1.3.6	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.3	96
1.3.7	Literatur zu Abschnitt 1.3	96
1.4	<i>Einführung in die Quantentheorie</i>	97
1.4.1	Hinweise auf den Aufbau der Atome aus Atomkern und Elektronenhülle	97
1.4.2	Bestimmung der Ladung des Elektrons	98
1.4.3	Bestimmung der Masse des Elektrons	100
1.4.4	Die Wellennatur des Elektrons	101
1.4.5	Die Eigenschaften des Lichtes	103
1.4.6	Der Dualismus Welle-Partikel	111
1.4.7	Nachweis niedriger Energieniveaus in Gasen	117
1.4.8	Die Spektrallinien der Atome	118
1.4.9	Das Bohrsche Modell des Wasserstoffatoms	122
1.4.10	Die Schrödinger-Gleichung	125
1.4.11	Die Behandlung eines freien Teilchens	131
1.4.12	Die Behandlung eines Teilchens im eindimensionalen Kasten	133
1.4.13	Die Behandlung eines Teilchens im dreidimensionalen Kasten	137
1.4.14	Die Behandlung eines Teilchens im Potentialtopf	140
1.4.15	Die Behandlung der Durchtunnelung eines Potentialwalls	148
1.4.16	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.4	151
1.4.17	Literatur zu Abschnitt 1.4	153
1.5	<i>Einführung in die chemische Kinetik</i>	153
1.5.1	Allgemeines	153
1.5.2	Reaktionen erster Ordnung	155
1.5.3	Reaktionen zweiter Ordnung	158
1.5.4	Reaktionen dritter Ordnung	159
1.5.5	Reaktionen nullter Ordnung	160
1.5.6	Die Bestimmung der Reaktionsordnung	161
1.5.7	Unvollständig verlaufende Reaktionen	165
1.5.8	Folge- und Parallelreaktionen	166
1.5.9	Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	168
1.5.10	Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.5	170
1.5.11	Literatur zu Abschnitt 1.5	171

1.6 <i>Einführung in die Elektrochemie</i>	172
1.6.1 Grundbegriffe der Elektrochemie	172
1.6.2 Die Wanderung von Ionen im elektrischen Feld und die Leitfähigkeit	181
1.6.3 Die molare Leitfähigkeit eines Elektrolyten und eines Ions	184
1.6.4 Die Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit und der molaren Leitfähigkeit	186
1.6.5 Elektrische Beweglichkeiten und molare Leitfähigkeiten der Ionen und Überführungszahlen	190
1.6.6 Die Hydratation der Ionen	194
1.6.7 Die Temperatur- und Lösungsmittelabhängigkeit der molaren Ionengrenzleitfähigkeit	198
1.6.8 Schwache Elektrolyte	199
1.6.9 Starke Elektrolyte, die Debye-Hückel-Onsager-Theorie	201
1.6.10 Anwendung der Leitfähigkeitsmessungen	210
1.6.11 Rechenbeispiele zu Abschnitt 1.6.	210
1.6.12 Literatur zu Abschnitt 1.6.	212
2 <i>Chemische Thermodynamik</i>	213
2.1 <i>Das reale Verhalten der Materie</i>	214
2.1.1 Die thermische Zustandsgleichung des realen Gases	214
2.1.2 Das Zweiphasengebiet	222
2.1.3 Der kritische Punkt	224
2.1.4 Das Theorem der übereinstimmenden Zustände	227
2.1.5 Die thermische Zustandsgleichung kondensierter Stoffe	228
2.1.6 Der Joule-Thomson-Effekt	229
2.1.7 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.1.	232
2.2 <i>Mischphasen</i>	233
2.2.1 Thermodynamische Größen von Mischphasen, partielle molare Größen	233
2.2.2 Die Gibbs-Duhemsche Gleichung	239
2.2.3 Kalorische Effekte bei der Herstellung realer Mischphasen	241
2.2.4 Mischungsentropie	245
2.2.5 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.2.	247
2.3 <i>Die Grundgleichungen der Thermodynamik</i>	249
2.3.1 Einführung der Freien Energie und der Freien Enthalpie	249
2.3.2 Die charakteristischen Funktionen	252
2.3.3 Die Gibbsschen Fundamentalgleichungen	256
2.3.4 Das chemische Potential	258
2.3.5 Temperatur- und Druckabhängigkeit des chemischen Potentials	261
2.3.6 Abhängigkeit des chemischen Potentials in Mischphasen vom Molenbruch	263
2.3.7 Mischungseffekte in idealen Mischphasen	265
2.3.8 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.3.	267
2.4 <i>Der Dritte Hauptsatz der Thermodynamik</i>	268
2.4.1 Das Theorem von Nernst	268
2.4.2 Ermittlung absoluter Entropien	270

2.4.3	Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.4	271
2.5	<i>Phasengleichgewichte</i>	272
2.5.1	Allgemeine Betrachtungen	272
2.5.2	Die Gibbssche Phasenregel	273
2.5.3	Phasengleichgewichte in Einkomponentensystemen	275
2.5.4	Phasengleichgewichte in Zweikomponentensystemen zwischen einer Mischphase und einer reinen Phase	281
	Dampfdruckerniedrigung (Raoult'sches Gesetz)	281
	Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktserniedrigung	285
	Osmotischer Druck	289
	Beeinflussung des Dampfdrucks kondensierter Stoffe durch Fremdgase	292
	Löslichkeit von Gasen	294
	Löslichkeit fester Stoffe	297
2.5.5	Aktivität und Aktivitätskoeffizient	299
	Normierung des Aktivitätskoeffizienten	300
	Experimentelle Bestimmung von Aktivitätskoeffizienten	306
	Gegenseitige Umrechnung der Aktivitätskoeffizienten einer binären Mischung oder Lösung	309
	Berechnung von Aktivitätskoeffizienten nach der Debye-Hückelschen Theorie	311
2.5.6	Phasengleichgewichte in Zweistoffsystemen zwischen Flüssigkeit und Dampf ..	315
	Dampfdruckdiagramme	315
	Siedediagramme	321
	Gleichgewichtsdiagramme	325
2.5.7	Schmelzdiagramme binärer Systeme	330
	Schmelzdiagramme bei lückenloser Mischkristallbildung	330
	Schmelzdiagramme mit partieller Mischungslücke	332
	Schmelzdiagramme ohne Mischkristallbildung	333
	Schmelzdiagramme mit Dystektikum	334
	Thermische Analyse	334
2.5.8	Ternäre Systeme	336
2.5.9	Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.5	338
2.6	<i>Das chemische Gleichgewicht</i>	339
2.6.1	Allgemeine Betrachtungen	339
2.6.2	Standardreaktion, Restreaktion und Gleichgewichtskonstante	340
	Homogene Gasgleichgewichte	346
	Homogene Lösungsgleichgewichte	347
	Heterogene Gleichgewichte	348
2.6.3	Die Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten	351
2.6.4	Die Druckabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten	354
2.6.5	Experimentelle Ermittlung der Gleichgewichtskonstanten	356
2.6.6	Berechnung von Gleichgewichtskonstanten	360
	Berechnung von K über Freie Standard-Bildungsenthalpien	361
	Berechnung von K über eine exakte Integration der van't Hoff'schen Gleichung	362
	Berechnung von K über die Gibbs-Helmholtz'sche Gleichung	364
	Berechnung von K mit Hilfe der Zustandssummen	367

2.6.7	Anwendung des Massenwirkungsgesetzes	367
	Berechnung der Ausbeute	367
	Berechnung des Dissoziationsgrades	370
	Zersetzungsgleichgewichte	370
2.6.8	Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.6	372
2.6.9	Literatur zu den Abschnitten 1.1 und 2.1 bis 2.6	373
2.7	<i>Grenzflächengleichgewichte</i>	374
2.7.1	Die Oberflächenspannung	375
2.7.2	Thermodynamik der Grenzflächen in Mehrstoffsystemen	382
2.7.3	Zweidimensionale Oberflächenfilme	385
2.7.4	Adsorption an Festkörperoberflächen	387
2.7.5	Die Chromatographie	393
2.7.6	Die elektrischen Doppelschichten	394
2.7.7	Die Elektrokapillarität	399
2.7.8	Kolloide	401
	Einteilung der Kolloide	401
	Bildung von Kolloiden	401
	Lyosole und ihre Stabilität	402
2.7.9	Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.7	404
2.7.10	Literatur zu Abschnitt 2.7	404
2.8	<i>Elektromotorische Kräfte</i>	405
2.8.1	Die Thermodynamik und die elektromotorische Kraft	405
2.8.2	Definition der elektrischen Potentiale und des elektrochemischen Potentials	409
2.8.3	Das Zustandekommen der elektrischen Potentialdifferenz einer galvanischen Zelle, Elektrodenpotentiale und deren Messung	414
2.8.4	Die verschiedenen Typen von Halbzellen	417
	Metallionenelektroden	417
	Gaselektroden	418
	Elektroden zweiter Art	420
	Redoxelektroden	421
2.8.5	Konventionen über die Darstellung einer galvanischen Zelle und das Vorzeichen elektrischer Potentialdifferenzen	423
2.8.6	Elektrodenpotentiale	426
2.8.7	Das Flüssigkeits- oder Diffusionspotential	428
2.8.8	Verschiedene Typen von galvanischen Zellen	431
	Chemische Zellen	431
	Konzentrationszellen	433
2.8.9	Anwendungen von Potentialmessungen	437
	Ermittlung von Standard-Elektrodenpotentialen	438
	Bestimmung von Freien-Standard-Reaktionsenthalpien, Standard-Reaktionsentropien, Standard-Reaktionsenthalpien und Gleichgewichtskonstanten	439
	Bestimmung des Löslichkeitsproduktes eines schwer löslichen Salzes	440
	Bestimmung von mittleren Aktivitätskoeffizienten	440
	Elektrometrische pH_a -Bestimmung	440

Potentiometrische Titration	442
2.8.10 Rechenbeispiele zu Abschnitt 2.8	444
2.8.11 Literatur zu Abschnitt 2.8	446
3 <i>Aufbau der Materie</i>	447
3.1 <i>Allgemeines</i>	447
3.2 <i>Quantenmechanische Behandlung einfacher Systeme</i>	448
3.2.1 Behandlung des starren Rotators	448
Starrer Rotator mit raumfester Achse	449
Starrer Rotator mit raumfreier Achse	451
3.2.2 Behandlung des harmonischen Oszillators	455
3.2.3 Behandlung des Wasserstoffatoms	462
3.2.4 Drehimpuls, Bahndrehimpuls, Spin, Gesamtdrehimpuls und Quantenzahlen ..	481
3.2.5 Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.2	492
3.2.6 Literatur zu den Abschnitten 1.4 und 3.2	494
3.3 <i>Wechselwirkung zwischen Strahlung und Atomen – Atomaufbau und Periodensystem</i>	494
3.3.1 Allgemeines	494
3.3.2 Die Spektren der im engeren Sinn wasserstoffähnlichen Teilchen	495
3.3.3 Die optischen Spektren der Alkalimetalle	497
3.3.4 Die optischen Spektren der Mehrelektronenatome	500
3.3.5 Die Röntgenspektren	502
3.3.6 Das Auger-Spektrum	507
3.3.7 Die quantenmechanische Behandlung von Mehrelektronenatomen	509
3.3.8 Pauli-Prinzip, Hundsche Regel und Aufbauprinzip	510
3.3.9 Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.3	512
3.3.10 Literatur zu Abschnitt 3.3	513
3.4 <i>Materie im elektrischen und im magnetischen Feld</i>	513
3.4.1 Allgemeines	513
3.4.2 Das Verhalten der Materie im elektrischen Feld. Dielektrizitätskonstante und elektrische Polarisierung	514
Die verschiedenen Arten der Polarisierung	517
Induziertes Dipolmoment und Polarisierbarkeit	518
Die Orientierungspolarisation	520
Trennung der verschiedenen Polarisationsarten	523
3.4.3 Das Verhalten der Materie im magnetischen Feld, Definitionen	525
Diamagnetismus	527
Paramagnetismus	527
Messung und numerische Werte der magnetischen Suszeptibilität	529
Ferromagnetismus	530
3.4.4 Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.4	531
3.4.5 Literatur zu Abschnitt 3.4	532
3.5 <i>Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen</i>	532
3.5.1 Allgemeines	532

3.5.2	Das Lambert-Beersche Gesetz	532
3.5.3	Quantenmechanische Behandlung der Absorption	534
3.5.4	Das Rotationspektrum	542
3.5.5	Das Schwingungsspektrum	544
3.5.6	Das Rotationschwingungsspektrum	549
3.5.7	Das Ramanspektrum	553
3.5.8	Die Elektronenbandenspektren	558
3.5.9	Emission aus elektronisch angeregten Zuständen	563
	Fluoreszenz	563
	Phosphoreszenz	564
	Laser	565
3.5.10	Photoelektronen-Spektroskopie	567
3.5.11	Die magnetische Resonanz	569
	Kernresonanz-Spektroskopie	575
	Elektronenspinresonanz-Spektroskopie	580
3.5.12	Die Mößbauer-Spektroskopie	581
3.5.13	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.5	583
3.5.14	Literatur zu Abschnitt 3.5	584
3.6	<i>Die chemische Bindung</i>	584
3.6.1	Allgemeine Betrachtung	584
3.6.2	Die ionische Bindung	585
3.6.3	Die kovalente Bindung	590
	Born-Oppenheimer-Näherung	590
	Linearkombination von Atomorbitalen	591
	Variationsmethode	592
	Die Valenzstruktur-Methode	597
	Das Wasserstoff-Molekülion	598
	Zweiatomige homonukleare Moleküle	601
	Zweiatomige heteronukleare Moleküle	605
3.6.4	Die metallische Bindung	605
3.6.5	Die van der Waalssche Bindung	608
3.6.6	Rechenbeispiele zu Abschnitt 3.6	609
3.6.7	Literatur zu Abschnitt 3.6	611
4	<i>Die statistische Theorie der Materie</i>	613
4.1	<i>Die klassische Statistik und die Quantenstatistiken</i>	613
4.1.1	Die verschiedenen Statistiken	613
4.1.2	Der Impulsraum und der Phasenraum	615
4.1.3	Allgemeines zur Aufstellung der Verteilungsfunktionen	618
4.1.4	Die Bose-Einstein-Statistik	618
4.1.5	Die Fermi-Dirac-Statistik	624
4.1.6	Die Boltzmann-Statistik	626
4.1.7	Vergleich der Statistiken	629
4.1.8	Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.1	630

4.2	<i>Statistische Thermodynamik</i>	631
4.2.1	Die Zustandssumme und die thermodynamischen Funktionen	631
4.2.2	Molekülzustandssumme und Systemzustandssumme	637
4.2.3	Berechnung der Zustandssumme	639
	Zustandssumme der Translation und molare Translationsenergie	639
	Zustandssumme der Rotation eines zweiatomigen Moleküls und molare Rotationsenergie	641
	Zustandssumme der Schwingung eines harmonischen Oszillators und molare Schwingungsenergie	643
	Zustandssumme der Elektronenanregung	646
4.2.4	Berechnung der thermodynamischen Daten eines idealen einatomigen Gases (ohne Elektronenanregung)	646
4.2.5	Thermodynamische Daten des idealen Kristalls	649
	Die Einsteinsche Theorie	649
	Die Debyesche Theorie	651
4.2.6	Das Elektronengas	659
4.2.7	Das Photonengas	667
4.2.8	Berechnung von Gleichgewichtskonstanten von Gasreaktionen	671
4.2.9	Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.2	675
4.3	<i>Die kinetische Gastheorie</i>	676
4.3.1	Maxwellsches Geschwindigkeits-Verteilungsgesetz	676
4.3.2	Druck eines Gases auf die Gefäßwandungen	682
4.3.3	Zahl der Stöße auf die Wand	684
4.3.4	Der Gleichverteilungssatz der Energie	685
4.3.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 4.3	689
4.4	<i>Literatur zu Kapitel 4</i>	689
5	<i>Transporterscheinungen</i>	691
5.1	<i>Die mittlere freie Weglänge</i>	691
5.2	<i>Die Stoßzahlen</i>	698
5.3	<i>Die allgemeine Transportgleichung</i>	700
5.4	<i>Die Diffusion</i>	702
5.5	<i>Die innere Reibung</i>	707
5.6	<i>Die Wärmeleitfähigkeit</i>	712
5.7	<i>Vergleich der Transporterscheinungen</i>	713
5.7.1	Vergleich der Koeffizienten der Transportgrößen bei Gasen	713
5.7.2	Rechenbeispiele zu den Abschnitten 5.1 bis 5.7	713
5.7.3	Literatur zu den Abschnitten 5.1 bis 5.7	715
5.8	<i>Die elektrische Leitfähigkeit</i>	716
5.8.1	Die elektrische und thermische Leitfähigkeit in Metallen	717
5.8.2	Die elektrische Leitfähigkeit von elektronischen Halbleitern	722
5.8.3	Die elektrische Leitfähigkeit von festen Ionenleitern	725

5.8.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 5.8	726
5.8.5	Literatur zu Abschnitt 5.8	727
5.9	<i>Die elektrokinetischen Erscheinungen</i>	727
5.9.1	Die Elektroosmose	727
5.9.2	Das Strömungspotential	731
5.9.3	Die Elektrophorese	732
5.9.4	Literatur zu Abschnitt 5.9	732
6	<i>Kinetik</i>	733
6.1	<i>Allgemeines</i>	733
6.2	<i>Die experimentellen Methoden und die Auswertung kinetischer Messungen</i>	734
6.2.1	Übersicht	734
6.2.2	Analysentechnik	735
6.2.3	Langsame Reaktionen	739
6.2.4	Schnelle Reaktionen	741
6.2.5	Molekularstrahltechnik	744
6.2.6	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.2	745
6.3	<i>Formale Kinetik komplizierterer Reaktionen</i>	746
6.3.1	Mikroskopische Reversibilität	746
6.3.2	Chemische Relaxation	747
6.3.3	Folgereaktionen	749
6.3.4	Die Quasistationarität	752
6.4	<i>Reaktionsmechanismen</i>	753
6.4.1	Allgemeines	753
6.4.2	Der Lindemann-Mechanismus	753
6.4.3	Reaktionen 3. Ordnung mit scheinbar negativer Aktivierungsenergie	755
6.4.4	Kettenreaktionen ohne Verzweigung	757
6.4.5	Kettenreaktionen mit Verzweigung	764
6.4.6	Explosionen	765
6.4.7	Rechenbeispiele zu den Abschnitten 6.3 und 6.4	768
6.5	<i>Die Theorie der Kinetik</i>	769
6.5.1	Allgemeines	769
6.5.2	Die einfache Stoßtheorie	770
6.5.3	Die verfeinerte Stoßtheorie	773
6.5.4	Die Theorie des aktivierten Komplexes	783
6.5.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.5	790
6.6	<i>Die Kinetik von Reaktionen in Lösungen</i>	790
6.6.1	Allgemeines	790
6.6.2	Bimolekulare Reaktionen in Lösungen	791
	Diffusionskontrollierte Geschwindigkeit	792
	Reaktionskontrollierte Geschwindigkeit	795
6.6.3	Anwendung der Theorie des aktivierten Komplexes auf Reaktionen in Lösung	796
6.6.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.6	799

6.7	<i>Die Kinetik heterogener Reaktionen</i>	799
6.7.1	Allgemeines	799
6.7.2	Kinetik der Phasenbildung	800
6.7.3	Auflösungsvorgänge	802
6.7.4	Verzunderungs- und Anlaufvorgänge	803
6.7.5	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.7	804
6.8	<i>Die Katalyse</i>	805
6.8.1	Allgemeines	805
6.8.2	Homogene Katalyse	807
	Säure-Base-Katalyse	808
	Autokatalyse	812
	Enzymatische Katalyse	814
6.8.3	Heterogene Katalyse	817
	Allgemeine Mechanismen der heterogenen Katalyse	818
	Kinetik heterogener katalytischer Reaktionen	819
	Der Zustand des Adsorbats	821
	Spezielle Reaktionsmechanismen	822
6.8.4	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.8	824
6.8.5	Literatur zu den Abschnitten 6.1 bis 6.8	825
6.9	<i>Die Kinetik von Elektrodenprozessen</i>	825
6.9.1	Allgemeines	825
6.9.2	Die Durchtrittsüberspannung	828
6.9.3	Die Diffusionsüberspannung	834
6.9.4	Weitere Arten der Überspannung	838
6.9.5	Die Zersetzungsspannung	839
6.9.6	Rechenbeispiele zu Abschnitt 6.9	839
6.9.7	Literatur zu Abschnitt 6.9	840
7	<i>Die Entwicklung der Physikalischen Chemie</i>	841
8	<i>Mathematischer Anhang</i>	845
	A Stirlingsche Formel	845
	B Determinanten	846
	C Vektoren	846
	D Operatoren, Darstellung des Laplace-Operators in Polarkoordinaten	848
	E Unbestimmte Ausdrücke. Regel von De L'Hospital	852
	F Reihenentwicklung	852
	G Bestimmung von Maxima und Minima	854
	H Partialbruchzerlegung	857
	I Lösung des Integrals $\int \sin^2 x \, dx$	858
	J Lösung des Integrals $\int \sin^3 x \, dx$	858
	K Lösung der Integrale $\int x^n e^{-x^2} \, dx$	859
	L Lösung des Integrals $\int \varepsilon^{1/2} e^{-\varepsilon/kT} \, d\varepsilon$	861
	M Lösung des Integrals $\int x^3 (e^x - 1)^{-1} \, dx$	862
	N Lösung der Differentialgleichung $\frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + k^2 \psi(x) = 0$	863

	O Lösung der Differentialgleichung $\frac{d^2 \varphi(x)}{dx} - k^2 \varphi(x) = 0$	865
	P Lösung der Poisson-Boltzmann-Gleichung	865
	Q Lösung der assoziierten Legendreschen Differentialgleichung	866
	R Lösung der Schrödinger-Gleichung für den harmonischen Oszillator	874
	S Lösung der radialen Wellenfunktion des Wasserstoffatoms	881
	T Orthogonalitätsbeziehung der Wellenfunktionen	885
	U Weiterführende Literatur zum Mathematischen Anhang	886
9	<i>Lösungen der Rechenbeispiele</i>	887
	<i>Sachregister</i>	909