

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	VII
--------------------------	-----

<b>1 Grundlagen der thermodynamischen Beschreibung makroskopischer Systeme .....</b>	<b>1</b>
1.1 Thermodynamische Grundbegriffe .....	1
1.1.1 Thermodynamische Systeme, Zustandsvariable .....	2
1.1.2 Stoffmengenangaben .....	7
1.1.3 Temperatur, Thermometer .....	10
1.1.4 Größengleichungen, Einheiten .....	13
1.2 Zustandsgleichungen .....	16
1.2.1 Mechanisch-thermische Zustandsfunktionen, Materialkoeffizienten ..	16
1.2.2 Zustandsgleichungen für Gase und Flüssigkeiten: Phänomenologische Beschreibung .....	18
1.2.3 Molekulare Interpretation der Zustandsgleichungen für Gase und Flüssigkeiten .....	26
1.2.4 Zustandsgleichungen für kondensierte Phasen .....	32
1.3 Elemente der statistischen Thermodynamik .....	33
1.3.1 Statistische Interpretation des thermodynamischen Gleichgewichts ..	33
1.3.2 Das Boltzmann-Verteilungsprinzip .....	37
Weiterführende Literatur zu „Grundlagen der thermodynamischen Beschreibung makroskopischer Systeme“ .....	43
Übungsaufgaben zu Kapitel 1 .....	43
<b>2 Hauptsätze der Thermodynamik .....</b>	<b>45</b>
2.1 Energetische Beschreibung von Zustandsänderungen .....	46
2.1.1 Grundlagen der Energetik .....	46
2.1.2 Beschreibung von Änderungen des Energiezustandes in den Zustandsvariablen $V$ und $T$ .....	55
2.1.3 Beschreibung von Änderungen des Energiezustandes in den Zustandsvariablen $P$ und $T$ .....	62
2.2 Beschreibung der Richtung von thermodynamischen Zustandsänderungen .....	74
2.2.1 Der II. Hauptsatz der Thermodynamik: Systemtheorie .....	74
2.2.2 Praktische Ermittlung der Entropieänderungen von Stoffen .....	83
2.2.3 Anmerkungen zur statistischen Deutung der Entropie .....	87

2.3 Zur Anwendung der Hauptsätze der Thermodynamik auf biologische Systeme.....	91
Weiterführende Literatur zu „Hauptsätze der Thermodynamik“ .....	93
Übungsaufgaben zu „Hauptsätze der Thermodynamik“ .....	93
<b>3 Thermodynamische Potentiale und Gleichgewichte.....</b>	<b>97</b>
3.1 Thermodynamische Potentiale, Fundamentalgleichungen .....	98
3.1.1 Freie Enthalpie, Gibbs'sche Fundamentalgleichung .....	98
3.1.2 Praktische Ermittlung von molaren Freien Enthalpien für Einstoffsysteme .....	101
3.1.3 Freie Reaktionsenthalpie, Freie Bildungsenthalpie .....	103
3.1.4 Weitere thermodynamische Potentiale und Fundamentalgleichungen.....	106
3.2 Phasengleichgewichte von Einstoffsystemen .....	108
3.2.1 Gleichgewichtsbedingungen, Reversible Arbeit .....	108
3.2.2 Zweiphasengleichgewichte in Einstoffsystemen.....	113
Weiterführende Literatur zu „Thermodynamische Potentiale und Gleichgewichte“.....	122
Übungsaufgaben zu „Thermodynamische Potentiale und Gleichgewichte“ ..	122
<b>4 Mehrkomponentensysteme .....</b>	<b>125</b>
4.1 Partielle molare Größen .....	125
4.1.1 Partielles Molvolumen .....	126
4.1.2 Weitere partielle molare Größen .....	127
4.1.3 Chemisches Potential $\mu_i$ .....	128
4.2 Erweiterung der Hauptsätze der Thermodynamik .....	129
4.3 Chemisches Potential eines idealen Gases .....	130
4.4 Eigenschaften von Lösungen .....	131
4.4.1 Chemisches Potential einer ideal verdünnten Lösung .....	131
4.4.2 Aktivität, Aktivitätskoeffizient.....	132
4.4.3 Verteilungsgleichgewicht.....	133
4.4.4 Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten.....	137
4.4.5 Dampfdruckerniedrigung .....	139
4.4.6 Chemisches Potential des Lösungsmittels in der Lösung .....	141
4.4.7 Osmotische Erscheinungen .....	142
4.4.8 Wasserpotential $\Psi$ und Wasserhaushalt von Pflanzen .....	148
4.4.9 Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung .....	151
4.5 Phasengleichgewichte von Mehrstoffsystemen .....	152
4.5.1 Phasenregel.....	152
4.5.2 Phasengleichgewichte einfacher Zweikomponentensysteme .....	154
Weiterführende Literatur zu „Mehrkomponentensystemen“ .....	157
Übungsaufgaben zu „Mehrkomponentensysteme“ .....	158
<b>5 Chemische Gleichgewichte.....</b>	<b>161</b>
5.1 Massenwirkungsgesetz und Energetik chemischer Reaktionen .....	161
5.1.1 Grundlagen .....	161

5.1.2 Bedeutung der Standardänderung $\Delta G^0$ der Freien Enthalpie .....	166
5.1.3 Gekoppelte Reaktionen; exergone und endergone Reaktionen .....	167
5.1.4 Enthalpie- und Entropieänderungen bei chemischen Reaktionen; exotherme und endotherme (entropiegetriebene) Reaktionen .....	169
5.1.5 Maximale Reaktionsarbeit .....	170
5.1.6 Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten .....	172
5.2 Löslichkeitsprodukt .....	173
5.3 Säure-Base-Gleichgewichte .....	175
5.3.1 Einleitung .....	175
5.3.2 Protolyse und Hydrolyse .....	177
5.3.3 Ionenprodukt des Wassers .....	177
5.3.4 pH-Skala .....	179
5.3.5 pK-Wert von Säuren und Basen, Henderson-Hasselbalch-Gleichung .....	180
5.3.6 Bestimmung von pK-Werten durch Titration .....	183
5.3.7 Puffer .....	185
5.3.8 pH-Indikatoren .....	186
5.3.9 Protolytische Gleichgewichte von Aminosäuren .....	187
Weiterführende Literatur zu „Chemische Gleichgewichte“ .....	189
Übungsaufgaben zu „Chemische Gleichgewichte“ .....	189

## 6 Elektrochemie .....

6.1 Elektrolytische Leitung .....	191
6.1.1 Grundbegriffe, Gesetz von Faraday .....	191
6.1.2 Theorie der Ionenwanderung im elektrischen Feld, Ionenbeweglichkeit und Äquivalentleitfähigkeit .....	193
6.1.3 Interionische Wechselwirkung .....	196
6.1.4 Beziehung zwischen Ionenbeweglichkeit und Ionenradius .....	198
6.1.5 Überführungszahlen .....	200
6.2 Ionengleichgewichte an Membranen; das elektrochemische Potential ...	200
6.2.1 Ionenselektive Membranen .....	200
6.2.2 Elektrochemisches Potential; Membranpotential unter Gleichgewichtsbedingungen .....	202
6.2.3 Donnan-Gleichgewicht .....	204
6.2.4 Kolloidosmotischer Druck .....	206
6.3 Redoxprozesse und elektrochemische Zellen .....	207
6.3.1 Problemstellung und Definitionen .....	207
6.3.2 Vorgänge an Elektrodenoberflächen; die elektromotorische Kraft $E$ .....	208
6.3.3 Zusammenhang zwischen elektromotorischer Kraft $E$ und Ionenkonzentration $c$ .....	210
6.3.4 Berechnung von elektromotorischen Kräften elektrochemischer Zellen .....	212
6.3.5 Redoxreaktionen an Edelmetallelektroden .....	213
6.3.6 Redoxpotential, Nernst-Gleichung .....	215
6.3.7 Redoxpotential und Freie Enthalpie .....	218

6.3.8 pH-abhängige Redoxreaktionen .....	220
6.3.9 Bedeutung des Redoxpotentials, biologische Redoxsysteme .....	220
6.4 Elektroden spezieller Art .....	221
6.4.1 Referenzelektroden .....	221
6.4.2 Mikroelektroden .....	224
6.4.3 Glaselektrode .....	225
Weiterführende Literatur zu „Elektrochemie“ .....	227
Übungsaufgaben zu „Elektrochemie“ .....	227
<b>7 Grenzflächenerscheinungen .....</b>	<b>229</b>
7.1 Kapillarität .....	229
7.1.1 Oberflächenspannung von Flüssigkeiten .....	230
7.1.2 Kontaktwinkel .....	233
7.1.3 Thermodynamische Beschreibung von Grenzflächensystemen .....	238
7.1.4 Freie Enthalpie der Adhäsion und Kontaktwinkel .....	241
7.1.5 Kapillarwirkung .....	244
7.2 Adsorption an Grenzflächen .....	247
7.2.1 Das Studium oberflächenaktiver Verbindungen: die Filmwaage .....	248
7.2.2 Eigenschaften und Verwendung von Tensiden .....	251
7.2.3 Thermodynamische Beschreibung der Adsorption an Grenzflächen: Die Gibbs'sche Adsorptionsisotherme .....	257
7.2.4 Anwendungen und Sonderfälle der Gibbs'schen Adsorptionsgleichung .....	261
7.3 Monomolekulare und bimolekulare Lipidschichten .....	265
7.3.1 Lipidmonoschichten .....	265
7.3.2 Lipid-Doppelschichtsysteme .....	269
7.3.3 Phaseneigenschaften von Lipiddoppelschichten .....	271
Weiterführende Literatur zu „Grenzflächenerscheinungen“ .....	275
Übungsaufgaben zu „Grenzflächenerscheinungen“ .....	276
<b>8 Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen.....</b>	<b>279</b>
8.1 Viskosität .....	279
8.1.1 Definition, Einheiten und Zahlenwerte der Viskosität .....	279
8.1.2 Viskoses Fließen in einer Kapillare .....	281
8.1.3 Viskosität von makromolekularen Lösungen .....	285
8.1.4 Reibungskoeffizient .....	287
8.1.5 Brown'sche Molekularbewegung und Reibungskoeffizient .....	289
8.2 Diffusion .....	291
8.2.1 Diffusion und Brown'sche Molekularbewegung .....	292
8.2.2 Anwendung des 1. Fick'schen Gesetzes .....	295
8.2.3 Zeitabhängigkeit der Diffusion in einem einfachen Fall .....	297
8.2.4 2. Fick'sches Gesetz, Diffusion in freier Lösung .....	299
8.3 Sedimentation .....	303
8.3.1 Sedimentation im Schwerfeld der Erde .....	303
8.3.2 Physikalische Grundlagen der Sedimentation im Zentrifugalfeld .....	305

8.3.3 Differentielle Zentrifugation zur Präparation von zellulären Partikelfractionen .....	308
8.3.4 Analyse der Sedimentationsgeschwindigkeit von Makromolekülen im homogenen Suspensionsmedium, Molmasse .....	309
8.3.5 Gleichgewichtszentrifugation der makromolekularen Komponente im homogenen Suspensionsmedium.....	314
8.3.6 Zentrifugation im Dichtegradienten .....	316
8.4 Diffusion von Ionen: Nernst-Planck-Gleichung und Diffusionspotential	323
8.4.1 Nernst-Planck-Gleichung .....	324
8.4.2 Diffusionspotential .....	326
8.5 Elektrisch geladene Grenzflächen und Elektrophorese.....	328
8.5.1 Elektrisches Potential in der Nähe einer geladenen Wand .....	328
8.5.2 Ionenstärke .....	330
8.5.3 Ionenkonzentrationen in der Nähe einer geladenen Wand .....	331
8.5.4 Zusammenhang zwischen Flächenladungsdichte und Grenzflächenpotential.....	333
8.5.5 Elektrophorese .....	335
Weiterführende Literatur zu „Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen“ .....	342
Übungsaufgaben zu „Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen“ .....	343

## **9 Biologische Membranen.....347**

9.1 Membranstruktur.....	348
9.1.1 Chemische Bausteine, Anordnung in der Membran .....	348
9.1.2 Hydrophobe Wechselwirkung .....	350
9.2 Eigenschaften der Plasmamembran .....	353
9.2.1 Geometrische Dimensionen.....	353
9.2.2 Elektrische Eigenschaften: Ersatzschaltbild .....	354
9.2.3 Membranfluidität .....	358
9.3 Transport durch Membranen.....	360
9.3.1 Permeabilitätskoeffizient.....	360
9.3.2 Transport lipidlöslicher Substanzen .....	362
9.3.3 Unidirektionale Flüsse, Flussmessungen mit Isotopen .....	365
9.3.4 Flusskopplung .....	367
9.3.5 Osmotische Erscheinungen an nicht-semipermeablen Membranen, Staverman-Gleichungen .....	369
9.3.6 Carriertransport .....	373
9.3.7 Transport durch Kanäle .....	379
9.3.8 Aktiver Transport .....	382
9.3.9 Membranpotentiale, Goldman-Gleichung .....	395
9.4 Elektrisch erregbare Membranen .....	401
9.4.1 Ruhepotential der Axonmembran.....	401
9.4.2 Aktionspotentiale.....	402
9.4.3 Kabeleigenschaften des Axons .....	403
9.4.4 Schwellenwertverhalten des Aktionspotentials .....	404

9.4.5 Ionenströme bei der Nervenregung .....	406
9.4.6 Umkehrpotential .....	409
9.4.7 Flussmessungen mit Isotopen .....	410
9.4.8 Natrium- und Kaliumkanäle in der Nervenmembran .....	411
9.4.9 Analyse des Erregungsvorganges .....	411
9.4.10 Mechanismus des Aktionspotentials .....	413
9.4.11 Spannungsabhängige Steuerung von Ionenkanälen; Torströme .....	415
9.4.12 Die Hodgkin-Huxley-Gleichungen .....	417
9.5 Messung von Einzelkanal-Strömen mit der Saugpipetten-Technik .....	420
9.5.1 Einzelkanalexperimente am Natrium-Kanal der Nervenmembran .....	423
9.6 Zur Struktur von Kanälen biologischer Membranen .....	424
Weiterführende Literatur zu „Biologische Membranen“ .....	427
Übungsaufgaben zu „Biologische Membranen“ .....	428

## 10 Kinetik .....

10.1 Empirische Beschreibung der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen .....	434
10.1.1 Zur Definition der Reaktionsgeschwindigkeit .....	436
10.1.2 Molekularität und Reaktionsordnung .....	437
10.1.3 Kinetische Gleichungen mit Rückreaktion .....	440
10.1.4 Integration kinetischer Gleichungen .....	442
10.1.5 Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit .....	454
10.2 Kompartiment-Analyse .....	457
10.3 Populationsdynamik .....	464
10.4 Physikalische Interpretation der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen .....	467
10.4.1 Stoßtheorie .....	468
10.4.2 Die Theorie des Übergangszustandes .....	472
10.4.3 Diffusionskontrollierte Reaktionen in Lösungen .....	475
10.5 Praktische Durchführung kinetischer Untersuchungen .....	479
10.5.1 Konzentrationsmessungen .....	480
10.5.2 Mischmethoden .....	483
10.5.3 Relaxationsverfahren .....	485
10.6 Mehrstufiger Reaktionen: Der quasi-stationäre Zustand .....	496
10.7 Enzymkinetik .....	500
10.7.1 Einführung .....	500
10.7.2 Enzymkinetik im quasi-stationären Bereich .....	502
10.7.3 Mechanismen der Enzymhemmung .....	510
10.7.4 Mehrfachbindung und die Regulation biologischer Aktivität .....	514
10.8 Das Prinzip des detaillierten Gleichgewichts .....	525
Weiterführende Literatur zur „Kinetik“ .....	527
Übungsaufgaben zu „Kinetik“ .....	528

## 11 Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie .....

11.1 Energiereiche Strahlung .....	533
11.1.1 Elektromagnetische Strahlung und Atomstruktur .....	533

11.1.2 Atomkerne und Strahlung.....	538
11.2 Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie.....	548
11.2.1 Korpuskularstrahlung geladener Teilchen.....	549
11.2.2 Elektromagnetische Strahlung.....	550
11.2.3 Neutronen.....	558
11.3 Strahlungsmessung.....	558
11.3.1 Messgrößen und Einheiten.....	558
11.3.2 Messverfahren.....	560
11.4 Zur Anwendung radioaktiver Isotope.....	562
11.5 Strahlendosimetrie.....	565
11.5.1 Die Energiedosis $D_E$ .....	566
11.5.2 Die Ionendosis $D_I$ und ihre Beziehung zur Energiedosis $D_E$ .....	566
11.6 Biologische Wirkungen energiereicher Strahlung.....	570
11.6.1 Molekulare und zelluläre Wirkungen.....	571
11.6.2 Das Konzept der Äquivalentdosis.....	581
11.6.3 Die Wirkung auf den Menschen.....	584
11.7 Die gegenwärtige Strahlenexposition des Menschen.....	591
Weiterführende Literatur zu „Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie“.....	596
Übungsaufgaben zur „Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie“.....	597

<b>Lösungen der Übungsaufgaben.....</b>	<b>599</b>
-----------------------------------------	------------

<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>605</b>
-----------------------------	------------

<b>Chemische Elemente.....</b>	<b>615</b>
--------------------------------	------------

**Physikalische Einheiten und Periodisches System der Elemente**  
(auf den Innen- und den gegenüberliegenden Seiten des Umschlags)