

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

IX

1 Grundlagen der thermodynamischen Beschreibung makroskopischer Systeme	1
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
2 Hauptsätze der Thermodynamik	45
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
3 Thermodynamische Potentiale und Gleichgewichte.....	97
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
4 Mehrkomponentensysteme.....	125
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 μ_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 Ψ und Wasserhaushalt von Pflanzen	148
4.4.9 Gefrierpunkterniedrigung und Siedepunktserhöhung	151
4.5 Phasengleichgewichte von Mehrstoffsystemen	152
4.5.1 Phasenregel	152
4.5.2 Phasengleichgewichte einfacher Zweikomponentensysteme	154
Weiterführende Literatur zu „Mehrkomponentensysteme“	157
Übungsaufgaben zu „Mehrkomponentensysteme“	158
5 Chemische Gleichgewichte	161
5.1 Massenwirkungsgesetz und Energetik chemischer Reaktionen.....	161
5.1.1 Grundlagen	161

5.1.2 Bedeutung der Standardänderung ΔG° 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	191
6.1 Elektrolytische Leitung	191
6.1.1 Grundbegriffe, Gesetz von Faraday.....	191
6.1.2 Theorie der Ionenwanderung im elektrischen Feld, Ionenbeweglichkeit und Leitfähigkeit	193
6.1.3 Interionische Wechselwirkung	197
6.1.4 Beziehung zwischen Ionenbeweglichkeit und Ionenradius	199
6.1.5 Überführungszahlen	200
6.2 Ionengleichgewichte an Membranen; das elektrochemische Potential	201
6.2.1 Ionenselektive Membranen	201
6.2.2 Elektrochemisches Potential; Membranpotential unter Gleichgewichtsbedingungen.....	202
6.2.3 Donnan-Gleichgewicht.....	204
6.2.4 Kolloidosmotischer Druck.....	207
6.3 Redoxprozesse und elektrochemische Zellen	208
6.3.1 Problemstellung und Definitionen.....	208
6.3.2 Vorgänge an Elektrodenoberflächen; die elektromotorische Kraft E	208
6.3.3 Zusammenhang zwischen elektromotorischer Kraft E und Ionenkonzentration c	211
6.3.4 Berechnung von elektromotorischen Kräften elektrochemischer Zellen.....	212
6.3.5 Redoxreaktionen an Edelmetallektroden	214
6.3.6 Redoxpotential, Nernst-Gleichung	216
6.3.7 Redoxpotential und Freie Enthalpie	218
6.3.8 pH-abhängige Redoxreaktionen	220

6.3.9 Bedeutung des Redoxpotentials, biologische Redoxsysteme	221
6.4 Elektroden spezieller Art	222
6.4.1 Referenzelektroden.....	222
6.4.2 Mikroelektroden.....	225
6.4.3 Glaselektrode.....	226
Weiterführende Literatur zu „Elektrochemie“	228
Übungsaufgaben zu „Elektrochemie“	228
7 Grenzflächenerscheinungen	231
7.1 Kapillarität	231
7.1.1 Oberflächenspannung von Flüssigkeiten.....	232
7.1.2 Kontaktwinkel	235
7.1.3 Thermodynamische Beschreibung von Grenzflächensystemen	240
7.1.4 Freie Enthalpie der Adhäsion und Kontaktwinkel	243
7.1.5 Kapillarwirkung	247
7.2 Adsorption an Grenzflächen	249
7.2.1 Das Studium oberflächenaktiver Verbindungen: die Filmwaage	250
7.2.2 Eigenschaften und Verwendung von Tensiden	253
7.2.3 Thermodynamische Beschreibung der Adsorption an Grenzflächen: Die Gibbs'sche Adsorptionsisotherme	259
7.2.4 Anwendungen und Sonderfälle der Gibbs'schen Adsorptionsgleichung.....	263
7.3 Monomolekulare und bimolekulare Lipidschichten	267
7.3.1 Lipidmonoschichten	267
7.3.2 Lipid-Doppelschichtsysteme	271
7.3.3 Phaseneigenschaften von Lipiddoppelschichten	273
Weiterführende Literatur zu „Grenzflächenerscheinungen“	277
Übungsaufgaben zu „Grenzflächenerscheinungen“	278
8 Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen	281
8.1 Viskosität	281
8.1.1 Definition, Einheiten und Zahlenwerte der Viskosität	281
8.1.2 Viskoses Fließen in einer Kapillare.....	283
8.1.3 Viskosität von makromolekularen Lösungen	287
8.1.4 Reibungskoeffizient	289
8.1.5 Brown'sche Molekularbewegung und Reibungskoeffizient	291
8.2 Diffusion	293
8.2.1 Diffusion und Brown'sche Molekularbewegung	294
8.2.2 Anwendung des 1. Fick'schen Gesetzes	297
8.2.3 Zeitabhängigkeit der Diffusion in einem einfachen Fall	299
8.2.4 2. Fick'sches Gesetz, Diffusion in freier Lösung	301
8.3 Sedimentation	305
8.3.1 Sedimentation im Schwerkfeld der Erde	305
8.3.2 Physikalische Grundlagen der Sedimentation im Zentrifugalfeld	307
8.3.3 Differentielle Zentrifugation zur Präparation von zellulären Partikelfraktionen	310

8.3.4 Analyse der Sedimentationsgeschwindigkeit von Makromolekülen im homogenen Suspensionsmedium, Molmasse.....	311
8.3.5 Gleichgewichtszentrifugation der makromolekularen Komponente im homogenen Suspensionsmedium	316
8.3.6 Zentrifugation im Dichtegradienten	318
8.4 Diffusion von Ionen: Nernst-Planck-Gleichung und Diffusionspotential	325
8.4.1 Nernst-Planck-Gleichung	326
8.4.2 Diffusionspotential	328
8.5 Elektrisch geladene Grenzflächen und Elektrophorese.....	330
8.5.1 Elektrisches Potential in der Nähe einer geladenen Wand	331
8.5.2 Ionenstärke	332
8.5.3 Ionenkonzentrationen in der Nähe einer geladenen Wand	333
8.5.4 Zusammenhang zwischen Flächenladungsdichte und Grenzflächenpotential	335
8.5.5 Elektrophorese.....	338
Weiterführende Literatur zu „Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen“	344
Übungsaufgaben zu „Transporterscheinungen in kontinuierlichen Systemen“	345
9 Biologische Membranen.....	349
9.1 Membranstruktur	350
9.1.1 Chemische Bausteine, Anordnung in der Membran	350
9.1.2 Hydrophobe Wechselwirkung	352
9.2 Eigenschaften der Plasmamembran	355
9.2.1 Geometrische Dimensionen.....	355
9.2.2 Elektrische Eigenschaften: Ersatzschaltbild	356
9.2.3 Membranfluidität.....	360
9.3 Transport durch Membranen.....	362
9.3.1 Permeabilitätskoeffizient.....	362
9.3.2 Transport lipidlöslicher Substanzen	364
9.3.3 Unidirektionale Flüsse, Flussmessungen mit Isotopen.....	367
9.3.4 Flusskopplung	369
9.3.5 Osmotische Erscheinungen an nicht-semipermeablen Membranen, Staverman-Gleichungen.....	371
9.3.6 Carriertransport	375
9.3.7 Transport durch Kanäle	381
9.3.8 Aktiver Transport	383
9.3.9 Membranpotentiale, Goldman-Gleichung	397
9.4 Elektrisch erregbare Membranen	403
9.4.1 Ruhepotential der Axonmembran.....	403
9.4.2 Aktionspotentiale.....	404
9.4.3 Kabeleigenschaften des Axons	405
9.4.4 Schwellenwertverhalten des Aktionspotentials	406
9.4.5 Ionenströme bei der Nervenerregung	408
9.4.6 Umkehrpotential.....	411
9.4.7 Flussmessungen mit Isotopen.....	412

9.4.8 Natrium- und Kaliumkanäle in der Nervenmembran	413
9.4.9 Analyse des Erregungsvorganges.....	413
9.4.10 Mechanismus des Aktionspotentials	415
9.4.11 Spannungsabhängige Steuerung von Ionenkanälen; Torströme.....	417
9.4.12 Die Hodgkin-Huxley-Gleichungen	419
9.5 Messung von Einzelkanal-Strömen mit der Saugpipetten-Technik	422
9.5.1 Einzelkanalexperimente am Natrium-Kanal der Nervenmembran...	425
9.6 Zur Struktur von Kanälen biologischer Membranen	426
Weiterführende Literatur zu „Biologische Membranen“	429
Übungsaufgaben zu "Biologische Membranen"	430
10 Kinetik.....	435
10.1 Empirische Beschreibung der Geschwindigkeit	
chemischer Reaktionen	436
10.1.1 Zur Definition der Reaktionsgeschwindigkeit.....	438
10.1.2 Molekularität und Reaktionsordnung.....	439
10.1.3 Kinetische Gleichungen mit Rückreaktion.....	442
10.1.4 Integration kinetischer Gleichungen.....	444
10.1.5 Die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	456
10.2 Kompartiment-Analyse.....	459
10.3 Populationsdynamik	466
10.4 Physikalische Interpretation der Geschwindigkeit	
chemischer Reaktionen	469
10.4.1 Stoßtheorie	470
10.4.2 Die Theorie des Übergangszustandes.....	474
10.4.3 Diffusionskontrollierte Reaktionen in Lösungen	477
10.5 Praktische Durchführung kinetischer Untersuchungen.....	481
10.5.1 Konzentrationsmessungen.....	482
10.5.2 Mischmethoden	485
10.5.3 Relaxationsverfahren.....	487
10.6 Mehrstufiger Reaktionen: Der quasi-stationäre Zustand	498
10.7 Enzymkinetik	502
10.7.1 Einführung.....	502
10.7.2 Enzymkinetik im quasi-stationären Bereich.....	504
10.7.3 Mechanismen der Enzymhemmung	512
10.7.4 Mehrfachbindung und die Regulation biologischer Aktivität	516
10.8 Das Prinzip des detaillierten Gleichgewichts.....	527
Weiterführende Literatur zu „Kinetik“	529
Übungsaufgaben zu „Kinetik“	530
11 Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie	535
11.1 Energieriche Strahlung.....	535
11.1.1 Elektromagnetische Strahlung und Atomstruktur	535
11.1.2 Atomkerne und Strahlung	540
11.2 Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie.....	550
11.2.1 Korpuskularstrahlung geladener Teilchen.....	551
11.2.2 Elektromagnetische Strahlung.....	552

11.2.3 Neutronen	560
11.3 Strahlungsmessung	560
11.3.1 Messgrößen und Einheiten	560
11.3.2 Messverfahren	562
11.4 Zur Anwendung radioaktiver Isotope	564
11.5 Strahlendosimetrie	567
11.5.1 Die Energiedosis D_E	568
11.5.2 Die Ionendosis D_i und ihre Beziehung zur Energiedosis D_E	568
11.6 Biologische Wirkungen energiereicher Strahlung	572
11.6.1 Molekulare und zelluläre Wirkungen	573
11.6.2 Das Konzept der Äquivalentdosis	583
11.6.3 Die Wirkung auf den Menschen	586
11.7 Die gegenwärtige Strahlenexposition des Menschen	593
Weiterführende Literatur zu „Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie“	598
Übungsaufgaben zu „Strahlenbiophysik und Strahlenbiologie“	599
Lösungen der Übungsaufgaben	601
Sachverzeichnis	607
Chemische Elemente	617
Physikalische Einheiten und Periodisches System der Elemente	
(auf den Innen- und den gegenüberliegenden Seiten des Umschlags)	