

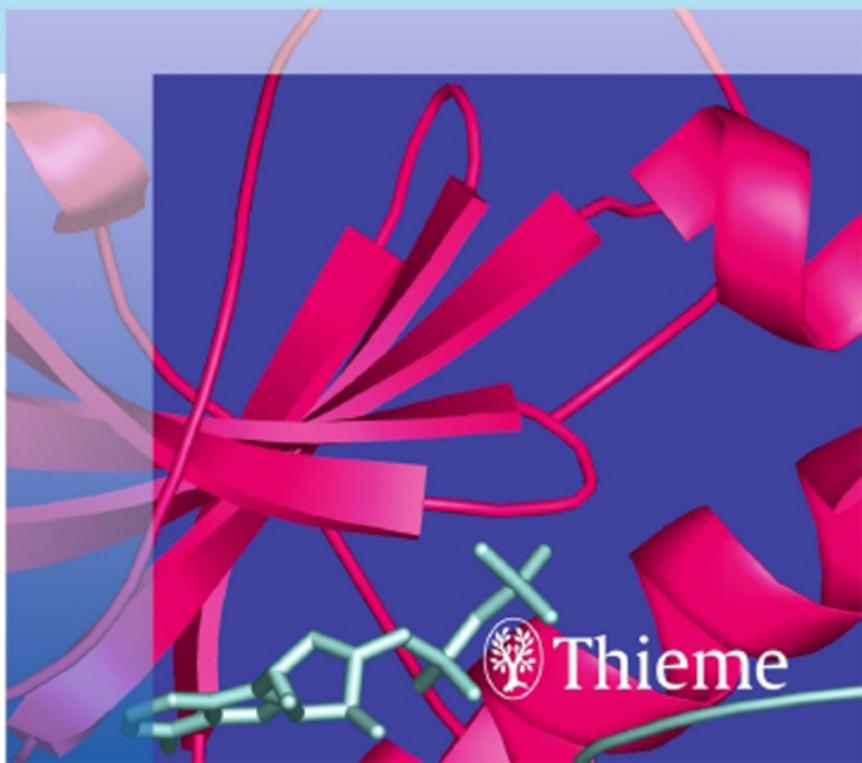
# Taschenlehrbuch Biologie

# Biochemie · Zellbiologie

Herausgegeben von Katharina Munk

Unter Mitarbeit von  
Constanze Abröll  
Thomas Kurth  
Thomas Langer  
Katharina Munk  
Regina Nethe-Jaenchen

Gunvor Pohl-Apel  
Harald Schlatter  
Beate Schultze  
Klaus Wolf



Thieme

1	Die Zelle	1
2	Biophysikalische Grundlagen	2
3	Aufbau und Eigenschaften biologischer Makromoleküle	3
4	Proteine	4
5	Enzymbiochemie	5
6	Coenzyme	6
7	Stoffwechsel	7
8	Membranen	8
9	Die eukaryotischen Zellkompartimente	9
10	Cytoskelett	10
11	Zelloberflächen	11
12	Zellteilung	12
13	Anhang	13



**Taschenlehrbuch Biologie**

# **Biochemie · Zellbiologie**

Herausgegeben von  
Katharina Munk

Unter Mitarbeit von  
Constanze Abröll  
Thomas Kurth  
Thomas Langer  
Regina Nethe-Jaenchen  
Harald Schlatter  
Beate Schultze  
Klaus Wolf

432 Abbildungen  
39 Tabellen



Georg Thieme Verlag  
Stuttgart · New York

*Bibliografische Information  
Der Deutschen Bibliothek*

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt. Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2008 Georg Thieme Verlag KG  
Rüdigerstraße 14, D-70469 Stuttgart  
Unsere Homepage: <http://www.thieme.de>

Printed in Germany

Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe

Titelbild: Ausschnitt aus der Struktur der Proteinkinase A mit Substratpeptid und einem gebundenen Molekül ADP.

Erzeugt von Dr. Thomas Langer, Sulzbach/Taunus, mit PyMOL  
(<http://sourceforge.net/projects/pymol/>)

Zeichnungen: H. Bernstädt-Neubert, Berlin;  
Ch. von Solodkoff, Neckargemünd

Satz: Hagedorn Kommunikation, Viernheim  
Gesetzt auf 3B2

Druck: Offizin Andersen Nexö, Leipzig

ISBN 978-3-13-144831-6

1 2 3 4 5 6

## Vorwort

Für die Studierenden wird es immer schwieriger bei dem wachsenden Informationsangebot und der Flut an täglich neu hinzukommenden Forschungsergebnissen, im Rahmen des kurzen **Bachelor-Studiums der Biologie** ein Verständnis für biologische Zusammenhänge und Prinzipien zu entwickeln. Die verschiedenen biologischen Fachbücher als Reihe herauszubringen, bietet die Möglichkeit, die **Zusammenhänge zwischen den Fachgebieten** herauszuarbeiten. Vier Bände enthalten das relevante Grundwissen der **Zoologie, Botanik, Mikrobiologie** und **Genetik**. Um die Gemeinsamkeiten der Organismen herauszustellen und gleichzeitig die Überschneidungen zwischen den Bänden möglichst gering zu halten, haben wir diesen „klassischen“ Fächern zwei übergreifende Bände zur Seite gestellt: Den hier vorliegenden Band **Biochemie · Zellbiologie**, der sich mit der Zelle als der kleinsten Lebenseinheit beschäftigt, und den Band **Evolution · Ökologie**, der sich mit Interaktionen befasst, die über den einzelnen Organismus hinausgehen und ganze Lebensgemeinschaften und Ökosysteme betreffen.

Die an der Buchreihe beteiligten **über 40 Autoren** sind in Lehre und Forschung **erfahrene Dozenten** ihrer Fachgebiete. Ihre Erfahrungen mit den seit einigen Jahren laufenden Bachelor-Studiengängen haben sie in diese Taschenbücher eingebracht, die Stofffülle auf ein überschaubares Basiswissen reduziert und durch eine fächerübergreifende, vergleichende Darstellung und viele Verweise Querverbindungen zwischen den einzelnen biologischen Disziplinen hergestellt. So vermitteln die Bände einen zusammenhängenden Überblick über die Basisinhalte der Biologie.

Der Band **Biochemie · Zellbiologie** umfasst alle relevanten Grundlagen zur Struktur und Funktion der Zelle als Grundeinheit des Lebens. Die in einer Zelle stattfindenden biochemischen Prozesse, die diesen zugrundeliegende Energetik, der Aufbau und die Organisation der Zellbestandteile sowie die Rolle der Zelloberflächen bei der Signalerkennung und Weiterleitung werden fächerübergreifend, vergleichend dargestellt. Auf diese Weise werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen einer prokaryotischen, pflanzlichen, tierischen Zelle und einer Pilzzelle erkennbar.

Die **Ursprünge** dieser Taschenlehrbuch-Reihe zur Biologie gehen auf eine Initiative des Gustav Fischer Verlages im Sommer 1997 zurück. An dieser Stelle möchte ich ganz besonders Herrn Dr. Arne Schäffler danken, der damals das Zustandekommen der Reihe ermöglichte und mit seinen vielen wertvollen Ratschlägen ihren Werdegang begleitet hat. Ermutigt durch den Erfolg der ersten Auflage, die 2000 und 2001 unter dem Namen *Grundstudium Biologie* im Spektrum-Verlag erschien, und die starke positive Resonanz von Studenten und Dozenten, haben wir eine neue Auflage in Angriff genommen, die mittlerweile durch zahlreiche neue Autoren unterstützt wird.

Mein besonderer **Dank** gilt dem Georg Thieme Verlag für die neue Herausgabe der Reihe in ihrer jetzigen Taschenbuchform und der großzügigen farbigen Gestaltung.

Frau Marianne Mauch als verantwortliche Programmplanerin danke ich für ihre Begeisterung für das Projekt, die effiziente Hilfe und ihre wertvolle Unterstützung bei der Weiterführung des Konzepts. Die Zusammenarbeit macht mir sehr viel Spaß. Frau Elsbeth Elwing hat mit ihrer fröhlichen Ruhe stets alle noch so aussichtslosen Terminprobleme bei der Herstellung gelöst. Auch allen anderen Mitarbeitern des Verlages, die mit ihrer Arbeit zum Gelingen der Bände beigetragen haben, sei gedankt. Besonders auch Michael Zepf, der alle meine technischen Anfragen immer rasch und zuverlässig beantwortet hat.

Besonders bedanke ich mich auch bei Frau Christiane von Solodkoff sowie bei Frau Henny Bernstädt-Neubert für die sehr persönliche Zusammenarbeit und die kreative und professionelle Umsetzung – zeitweilig im Dauereinsatz – der teilweise chaotischen Vorlagen in die nun hier vorliegenden, hervorragend gelungenen Abbildungen.

Dr. Karin Hauser (Stuttgart), Dr. habil. Maria Mulisch (Kiel), PD Dr. Andrea Maisner (Marburg), Dr. Hella Hartmann (Dresden), Prof. Dr. Christian Bardele (Tübingen), Prof. Dr. Peter Traub (Ladenburg), Dr. Denis Chrétien, (Rennes), Prof. Dr. Manfred Hauser (Bochum) danke ich für die zur Verfügung gestellten Abbildungen und Originale. Einige fotografische Abbildungen wurden aus anderen Lehrbüchern des Thieme-Verlags übernommen. Für die freundliche Genehmigung und Überlassung bedanke ich mich ganz herzlich bei den jeweiligen Autoren und Urhebern.

Für die geniale Unterstützung im Hintergrund danke ich meiner Mutter, die für unser leibliches Wohlergehen sorgte, meiner Tochter, die mich daran erinnert, dass auch die Familie interessant sein kann, meinen beiden Söhnen für die kompetente und permanente Computerbetreuung ohne jegliche Pannen und Abstürze und meinem Ehemann PD Dr. Matthias Munk für die vielen fachlichen Diskussionen und Ermutigungen.

Das hier vorliegende Werk ist eine Gemeinschaftsleistung aller an der Buchreihe beteiligten Autoren. Mit großem Einsatz haben sie nicht nur die eigenen Kapitel geschrieben, die anderen Kapitel korrigiert, sondern auch mit vielen konstruktiven Anregungen zu den Inhalten der anderen Bände fachübergreifende Zusammenhänge hergestellt. Wir hoffen, dass dadurch ein Gesamtwerk entstanden ist, dessen Lektüre Ihnen nicht nur gute Voraussetzungen für das Bestehen Ihrer Prüfungen vermittelt, sondern auch Ihre Begeisterung für das Fach Biologie weckt.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg in Ihrem Studium!

Dr. Katharina Munk  
E-Mail: [MunkReihe@web.de](mailto:MunkReihe@web.de)  
Juli 2008

## So arbeiten Sie effektiv mit der Taschenlehrbuch-Reihe

Die Bücher bieten Ihnen vielfältige didaktische Hilfen, sowohl für die Phase, in der Sie die Grundlagen erarbeiten, als auch für die schnelle und effiziente Stoffwiederholung kurz vor einer Ihrer Prüfungen.

**Einführende Abschnitte** geben Ihnen einen **ersten Überblick** und nehmen die wichtigsten Schlüsselbegriffe vorweg. Hier erhalten Sie den „Rahmen“, in den Sie den folgenden Inhalt einordnen können.

Um Ihnen trotz der Stofffülle alle relevanten Inhalte im handlichen Taschenbuch-Format bieten zu können, sind die **Texte** möglichst **kurz gefasst**, aber dennoch **verständlich formuliert** – mit vielen **Hervorhebungen** für eine optimale Orientierung und einen raschen Informationszugriff.

**Kleingedruckte Abschnitte** mit zusätzlichen Details, Beispielen oder weiterführenden Informationen ermöglichen Ihnen einen „Blick über den Tellerrand“.

Zahlreiche **farbige Abbildungen** und eindrucksvolle **mikroskopische** oder **elektronenmikroskopische Aufnahmen** helfen Ihnen, sich komplexe Sachverhalte zu erschließen.

▶ In grün markierten Abschnitten finden Sie Informationen über **Anwendungsmöglichkeiten**, die sich aus den beschriebenen biologischen Prinzipien ergeben. ◀

▶ Orange gekennzeichnete Abschnitte erläutern konkrete **Methoden**, die Sie entweder in Ihrer experimentellen Arbeit selbst beherrschen müssen, oder die für Anwendungen z.B. in großtechnischem Maßstab von Bedeutung sind. ◀

**Repetitorien** am Ende der Abschnitte greifen die wichtigsten neuen Begriffe nochmals auf. Sie sind ideal zur Rekapitulation beim Lernen und Nachschlagen! Außerdem erfüllen sie die Funktion eines **Glossars**, da die Definitionen anhand der farbigen Seitenzahl im Sachverzeichnis leicht nachgeschlagen werden können.

Das **Zusatzangebot im Internet**: [www.thieme.de/go/taschenlehrbuch-biologie](http://www.thieme.de/go/taschenlehrbuch-biologie)

Anhand zahlreicher **Prüfungsfragen** zu jedem Kapitel und den ausführlichen Antworten können Sie Ihr Wissen selbst überprüfen.

Die Zahl der Internet-Seiten, die sich mit biologischen Themen befassen, ist groß und steigt stetig. Aus dem unübersichtlichen Angebot haben wir für Sie neben einer Auswahl der wichtigsten **weiterführenden Literatur** einige **Internet-Adressen** zusammengestellt, die Ihnen als nützlichen Einstieg für weiterführende Recherchen dienen sollen.

Wie bei einem Werk dieses Umfanges zu erwarten, ist auch diese Taschenlehrbuch-Reihe sicher nicht frei von Fehlern. Wir sind daher dankbar für Hinweise. Anregungen und Verbesserungsvorschläge können Sie uns jederzeit mailen.

Die uns bekannten **Korrekturen** werden wir auf der oben genannten Internetseite zusammenfassen und aktualisieren.

## Adressen

**Constanze Abröll**

Friedrichsfelder Straße 16  
69123 Heidelberg

**Dr. Thomas Kurth**

Electron Microscopy Facility  
DFG-Center for Regenerative  
Therapies (CRTD)  
Cluster of Excellence/TU Dresden  
Tatzberg 47–49  
01307 Dresden

**Dr. Thomas Langer**

Keltenweg 10  
65843 Sulzbach

**Dr. Katharina Munk**

Untere Beltz 12  
65510 Idstein

**Dr. Regina Nethe-Jaenchen**

Bickenbacher Weg 9  
64673 Zwingenberg

**Dr. Harald Schlatter**

Hugenottenallee 35  
63263 Neu-Isenburg

**Dr. Beate Schultze**

Kirchstraße 9  
34519 Diemelsee

**Dr. rer. nat. habil. Klaus W. Wolf**

The University of the West Indies  
(Mona Campus)  
Electron Microscopy Unit  
Kingston 7  
Jamaica, West Indies

# Inhaltsverzeichnis

## 1

<b>Die Zelle</b> .....	1
<b>1.1 Kleinste Lebenseinheit Zelle</b> .....	1
<b>1.2 Die verschiedenen Organisationsformen der Zelle</b> .....	4
1.2.1 Die Zelle der Bacteria .....	5
1.2.2 Die Zelle der Archaea .....	9
1.2.3 Die Zelle der Eukarya .....	10
<b>1.3 Mikroskopie</b> .....	14
1.3.1 Das Lichtmikroskop .....	15
1.3.2 Das Elektronenmikroskop .....	21
1.3.3 Herstellung mikroskopischer Präparate .....	23
1.3.4 In vivo-Betrachtungen .....	28

## 2

<b>Biophysikalische Grundlagen</b> .....	30
<b>2.1 Die besondere Rolle des Wassers</b> .....	30
2.1.1 Die Struktur des Wassers .....	30
2.1.2 Wasser als Lösungsmittel .....	32
<b>2.2 Gleichgewichte</b> .....	36
2.2.1 Das Massenwirkungsgesetz .....	36
2.2.2 Das Löslichkeitsprodukt .....	37
<b>2.3 Säuren, Basen und Puffer</b> .....	38
2.3.1 Dissoziation des Wassers .....	39
2.3.2 Der pH-Wert .....	40
2.3.3 Puffer .....	45
2.3.4 Biologische Puffersysteme .....	46
<b>2.4 Physikalische Faktoren für den Stofftransport</b> .....	48
2.4.1 Diffusion .....	48
2.4.2 Ficksche Diffusionsgesetze .....	49
2.4.3 Diffusion und Membranen .....	51
2.4.4 Osmotische Erscheinungen .....	52
2.4.5 Osmose und Tonizität .....	54
2.4.6 Donnan-Verteilung .....	55
2.4.7 Viskosität .....	57
2.4.8 Strömung in Kapillaren .....	58
<b>2.5 Thermodynamische Grundlagen</b> .....	60
2.5.1 Der Erste Hauptsatz .....	61
2.5.2 Die Enthalpie .....	62
2.5.3 Der Zweite Hauptsatz .....	63
2.5.4 Chemisches Potential .....	65
2.5.5 Freie Standard-Bildungsenthalpie und Standardzustände ..	65

2.5.6	Die Änderung der freien Enthalpie unter Nicht-Standardbedingungen . . . . .	67
2.5.7	Gekoppelte Reaktionen . . . . .	68
<b>2.6</b>	<b>Elektrochemie</b> . . . . .	69
2.6.1	Redoxreaktionen . . . . .	69
2.6.2	Redoxpotentiale . . . . .	70
2.6.3	Arbeitsleistung bei Redoxreaktionen . . . . .	73
2.6.4	Die Nernst-Gleichung . . . . .	74
2.6.5	Einfluss des pH-Wertes auf das Redoxpotential . . . . .	75
2.6.6	Elektrochemisches Potential und Membranpotential . . . . .	76
2.6.7	Goldman-Gleichung . . . . .	77
2.6.8	Chemiosmotische Theorie und protonenmotorische Kraft . . . . .	78
<b>2.7</b>	<b>Licht und Leben</b> . . . . .	80
2.7.1	Die Natur des Lichts: elektromagnetische Wellen . . . . .	81
2.7.2	Lichtabsorption . . . . .	82
2.7.3	Messung der Lichtabsorption . . . . .	85

## 3

	<b>Aufbau und Eigenschaften biologischer Makromoleküle</b> . . . . .	87
<b>3.1</b>	<b>Aufbau und Zusammenhalt von Makromolekülen</b> . . . . .	87
3.1.1	Verschiedene Bindungstypen bestimmen die Raumstruktur biologischer Makromoleküle . . . . .	88
<b>3.2</b>	<b>Kohlenhydrate</b> . . . . .	92
3.2.1	Monosaccharide . . . . .	92
3.2.2	Oligo- und Polysaccharide . . . . .	97
<b>3.3</b>	<b>Nucleinsäuren</b> . . . . .	103
3.3.1	Die Bausteine der Nucleinsäuren . . . . .	105
<b>3.4</b>	<b>Lipide</b> . . . . .	108
3.4.1	Die Struktur der Fette . . . . .	109
3.4.2	Die Struktur der Wachse . . . . .	111
3.4.3	Die Struktur der komplexen Lipide . . . . .	111
3.4.4	Die Struktur der Isoprenoide . . . . .	112
<b>3.5</b>	<b>Isomerie bei Biomolekülen</b> . . . . .	114
3.5.1	Konstitutionsisomere . . . . .	115
3.5.2	Stereoisomere . . . . .	115

## 4

	<b>Proteine</b> . . . . .	120
<b>4.1</b>	<b>Die Funktion von Proteinen</b> . . . . .	120
<b>4.2</b>	<b>Die Aminosäuren – Bausteine der Proteine</b> . . . . .	121
4.2.1	Eigenschaften von Aminosäuren . . . . .	122
4.2.2	Die 20 Standardamino-säuren . . . . .	123
4.2.3	Weitere proteinogene Aminosäuren . . . . .	126
4.2.4	Nicht proteinogene Aminosäuren und Aminosäurederivate . . . . .	128

<b>4.3</b>	<b>Die Struktur von Proteinen</b> . . . . .	129
4.3.1	Die verschiedenen Sekundärstrukturen von Proteinen . . . .	131
4.3.2	Von der Sekundär – über die Supersekundär – zur Tertiärstruktur . . . . .	138
4.3.3	Die Stabilisierung von Proteinstrukturen . . . . .	141
4.3.4	Der rätselhafte Faltungscodex der Proteine . . . . .	143
4.3.5	Die Quartärstruktur . . . . .	145
<b>4.4</b>	<b>Die Methoden der Proteinchemie</b> . . . . .	147
4.4.1	Proteinnachweis . . . . .	147
4.4.2	Elektrophoretische Techniken . . . . .	149
4.4.3	Proteinreinigung . . . . .	151
4.4.4	Analyse der Proteinstruktur . . . . .	154
4.4.5	Recherche im Internet und Proteindatenbanken . . . . .	161
4.4.6	Protein-Engineering . . . . .	163

## 5

<b>Enzymbiochemie</b> . . . . .	166
<b>5.1 Was sind Enzyme?</b> . . . . .	166
5.1.1 Enzymspezifitäten . . . . .	166
5.1.2 Die Rolle der Coenzyme . . . . .	169
5.1.3 Einteilung der Enzyme . . . . .	169
5.1.4 Isoenzyme . . . . .	170
<b>5.2 Strategien der Enzymkatalyse</b> . . . . .	172
5.2.1 Reaktionskinetik . . . . .	172
5.2.2 Die Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	173
5.2.3 Übergangszustand und Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .	174
5.2.4 Katalyse durch Erniedrigung der Aktivierungsenergie . . . .	176
5.2.5 Das aktive Zentrum . . . . .	177
5.2.6 Enzymaktivitäten . . . . .	179
5.2.7 Einfluss des pH-Werts auf die Enzymaktivität . . . . .	181
5.2.8 Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität . . . . .	181
<b>5.3 Enzymkinetik</b> . . . . .	182
5.3.1 Die Michaelis-Menten-Gleichung . . . . .	183
5.3.2 Die Michaelis-Konstante . . . . .	186
5.3.3 Das Verhältnis Michaelis-Konstante/Wechselzahl . . . . .	187
5.3.4 Linearisierung der Michaelis-Menten-Gleichung . . . . .	189
5.3.5 Hemmung der enzymatischen Aktivität . . . . .	190
5.3.6 Irreversible Hemmung . . . . .	191
5.3.7 Reversible Hemmtypen . . . . .	191
5.3.8 Substrat- und Produkthemmung . . . . .	196
5.3.9 Mehrsubstratreaktionen . . . . .	196

<b>5.4</b>	<b>Regulation der enzymatischen Aktivität</b> . . . . .	198
5.4.1	Keine Wirkung ohne Enzym . . . . .	199
5.4.2	Zymogenaktivierung . . . . .	200
5.4.3	Schlüsselenzyme . . . . .	200
5.4.4	Regulation durch kovalente Modifikation . . . . .	201
5.4.5	Allosterische Effekte und Kooperativität . . . . .	202
5.4.6	Kooperativität . . . . .	203
<b>5.5</b>	<b>Mechanismen der Enzymkatalyse</b> . . . . .	205
5.5.1	Serinproteasen . . . . .	207
5.5.2	Metallionen-Katalyse . . . . .	211
5.5.3	Lysozym . . . . .	214
<b>5.6</b>	<b>Ribozyme</b> . . . . .	215
5.6.1	Spleißen . . . . .	216
5.6.2	Viroide und Hammerhead-Ribozyme . . . . .	216
<b>6</b>	<b>Coenzyme</b> . . . . .	219
<b>6.1</b>	<b>Cofaktor, Coenzym oder prosthetische Gruppe?</b> . . . . .	219
<b>6.2</b>	<b>Cofaktoren der Oxidoreductasen</b> . . . . .	223
6.2.1	Nicotinamidnucleotide . . . . .	223
6.2.2	Flavinnucleotide . . . . .	225
6.2.3	Faktor 420 . . . . .	227
6.2.4	Chinone . . . . .	228
6.2.5	Glutathion . . . . .	230
6.2.6	Tetrahydrobiopterin . . . . .	231
6.2.7	Liponsäure . . . . .	231
6.2.8	Metallionen als Cofaktoren . . . . .	233
6.2.9	Eisen-Schwefel-Cluster . . . . .	234
6.2.10	Molybdopterin . . . . .	235
6.2.11	Metallporphyrine als Cofaktoren . . . . .	236
<b>6.3</b>	<b>Coenzyme für den Transfer von C<sub>1</sub>-Fragmenten</b> . . . . .	241
6.3.1	S-Adenosylmethionin . . . . .	241
6.3.2	Tetrahydrofolat . . . . .	241
6.3.3	Biotin . . . . .	244
<b>6.4</b>	<b>Coenzyme für den Transfer von C<sub>2</sub>- und größeren Fragmenten</b> . . . . .	247
6.4.1	Coenzym A . . . . .	248
<b>6.5</b>	<b>Energiereiche Phosphorverbindungen als Cofaktoren</b> . . . . .	250
6.5.1	Nucleotide als Cofaktoren . . . . .	250
6.5.2	Andere energiereiche Phosphor-Verbindungen als Cofaktoren . . . . .	254
<b>6.6</b>	<b>Coenzyme der Lyasen, Isomerasen und Ligasen</b> . . . . .	255
6.6.1	Thiamindiphosphat . . . . .	255
6.6.2	Pyridoxalphosphat . . . . .	256
6.6.3	Cobalamin (Coenzym B <sub>12</sub> ) . . . . .	259

## 7

<b>Stoffwechsel</b> .....	262
<b>7.1 Grundprinzipien des Stoffwechsels</b> .....	262
7.1.1 ATP und weitere energiereiche Verbindungen .....	265
7.1.2 Mechanismen der ATP-Synthese .....	268
7.1.3 Ein Überblick über die Reaktionen des Stoffwechsels .....	270
<b>7.2 Der Kohlenhydratstoffwechsel</b> .....	273
7.2.1 Die Glykolyse .....	274
7.2.2 Polysaccharide .....	280
7.2.3 Die Gluconeogenese .....	285
7.2.4 Der Pentosephosphatweg .....	288
7.2.5 Anaerober Glucoseabbau: Verschiedene Gärungen .....	290
7.2.6 Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats .....	292
7.2.7 Der Citratzyklus .....	293
7.2.8 Der Glyoxylatzyklus .....	298
<b>7.3 Die Atmungskette</b> .....	300
7.3.1 Die Komponenten der Atmungskette .....	301
7.3.2 Aufbau der protonenmotorischen Kraft .....	303
7.3.3 Kopplung von Oxidation und Phosphorylierung .....	305
7.3.4 Struktur und Funktion der ATP-Synthase .....	307
7.3.5 Energiebilanz der Atmungskette .....	309
7.3.6 Der respiratorische Quotient .....	311
7.3.7 Regulation der Atmungskette .....	311
<b>7.4 Der Lipidstoffwechsel</b> .....	313
7.4.1 Die $\beta$ -Oxidation der Fettsäuren .....	314
7.4.2 Die Fettsäurebiosynthese .....	321
7.4.3 Die Biosynthese von Lipiden .....	325
<b>7.5 Der Stickstoffstoffwechsel</b> .....	330
7.5.1 Stickstoff-Assimilation .....	331
7.5.2 Aminosäuresynthese .....	331
7.5.3 Nucleotidsynthese .....	334
7.5.4 Aminosäureabbau .....	335
7.5.5 Ausscheidung von Stickstoff .....	336
<b>7.6 Die Photosynthese</b> .....	339
7.6.1 Oxygene Photosynthese .....	340
7.6.2 Anoxygene Photosynthese .....	343
7.6.3 $\text{CO}_2$ -Fixierung: Der Calvin-Zyklus .....	345
7.6.4 Regulation des Calvin-Zyklus .....	347

## 8

<b>Membranen</b> .....	348
<b>8.1 Die Lipiddoppelschicht als universeller Bauplan aller zellulären Membranen</b> .....	348
<b>8.2 Die Lipidkomponente der Membranen</b> .....	350
8.2.1 Phospholipide .....	354
8.2.2 Glykolipide .....	356
8.2.3 Sterine und Hopanoide .....	357
8.2.4 Etherlipide und Isoprenoidlipide .....	359
8.2.5 Lipopolysaccharide .....	360
8.2.6 Bewegungen innerhalb der Membran .....	360
8.2.7 Strukturelle Organisation biologischer Membranen .....	362
8.2.8 Funktionen einzelner Lipide .....	364
8.2.9 Bildung neuer Membranen – intrazelluläre Lipidverteilung .....	365
<b>8.3 Die Proteinkomponente der Membranen</b> .....	367
8.3.1 Periphere Membranproteine .....	368
8.3.2 Integrale Membranproteine .....	368
<b>8.4 Transportvorgänge an Membranen</b> .....	371
8.4.1 Kanalbildende Proteine .....	373
8.4.2 Carrier .....	373
8.4.3 Ionophore .....	376
8.4.4 Porine und kanalbildende bakterielle Toxine .....	376
8.4.5 Aquaporine .....	377
8.4.6 Liganden-gesteuerte Ionenkanäle .....	379
8.4.7 ATP-getriebene Transporter .....	379
8.4.8 Die $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ -ATPase .....	381
8.4.9 ABC-Transporter .....	383

## 9

<b>Die eukaryotischen Zellkompartimente</b> .....	387
<b>9.1 Die Kompartimentierung der eukaryotischen Zelle</b> .....	387
<b>9.2 Der Zellkern</b> .....	389
9.2.1 Das Chromatin .....	391
9.2.2 Der Nucleolus .....	392
9.2.3 Kernlamina und Kernmatrix .....	393
9.2.4 Der Kernporenkomplex .....	394
9.2.5 Kerntransportprozesse .....	395
<b>9.3 Endoplasmatisches Retikulum</b> .....	399
9.3.1 Translokation von Proteinen in das endoplasmatische Retikulum .....	401
9.3.2 Proteinmodifikationen im ER .....	404
9.3.3 Lipidsynthese .....	406
9.3.4 Proteintransport zwischen ER und Golgi .....	406