

bio
biologie

Michael T. Madigan
John M. Martinko

Brock Mikrobiologie

11., aktualisierte Auflage 2009

Studentengetestet!

Prentice Hall

PEARSON
Studium

Brock Mikrobiologie

11., aktualisierte Auflage 2009

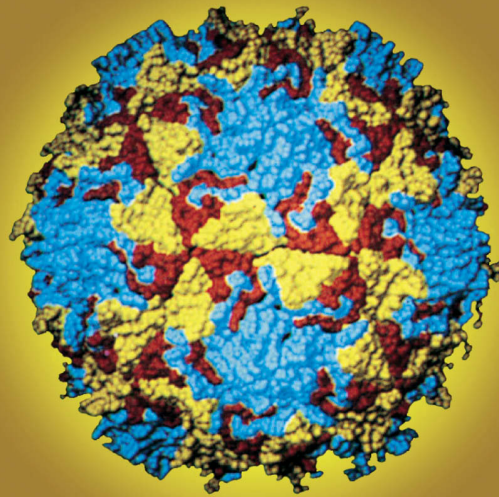
Unser Online-Tipp
für noch mehr Wissen ...

informit.de

Aktuelles Fachwissen rund um die Uhr
– zum Probelesen, Downloaden oder
auch auf Papier.

www.informit.de 

bio
biologie



Michael T. Madigan
John M. Martinko

Brock Mikrobiologie

11., aktualisierte Auflage 2009

Aus dem Amerikanischen von Thomas Lazar und Freya Thomm-Reitz

Deutsche Bearbeitung von Michael Thomm

PEARSON
Studium

ein Imprint von Pearson Education
München • Boston • San Francisco • Harlow, England
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Bibliographische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten
sind im Internet über www.dnb.d-nb.de abrufbar.

Die Informationen in diesem Produkt werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Authorized Translation from the English language edition, entitled BROCK BIOLOGY OF MICROORGANISMS,
11th Edition, ISBN 0131443291, by MADIGAN, MICHAEL; MARTINKO, JOHN, published by Pearson Education, Inc., publishing as
Prentice Hall, Copyright © 2006 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

GERMAN language edition published by PEARSON EDUCATION DEUTSCHLAND GMBH, Copyright © 2006.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der photomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig.

Es konnten nicht alle Rechteinhaber von Abbildungen ermittelt werden. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechteinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.

Fast alle Markenbezeichnungen, die in diesem Buch erwähnt werden, sind gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen oder sollten als solche betrachtet werden.

Umwelthinweis:

Dieses Buch wurde auf chlorfrei gebleichten Papier gedruckt. Die Einschrumpffolie – zum Schutz vor Verschmutzung – ist aus umweltverträglichem PE-Material.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

11 10 09

ISBN 978-3-8273-7358-8

© 2009 by Pearson Studium
ein Imprint der Pearson Education Deutschland GmbH
Martin-Kollar-Straße 10–12, D–81829 München
Alle Rechte vorbehalten
www.pearson-studium.de
Übersetzung: Dr. Thomas Lazar, Paderborn (Kapitel 12 und 14–29);
Freya Thomm-Reitz, Regensburg (Kapitel 1–11, 13 und 30–31)
Lektorat: Dr. Stephan Dietrich, sdietrich@pearson.de
Dr. Rainer Fuchs, rfuchs@pearson.de
Fachlektorat: Prof. Dr. Michael Thomm, Universität Regensburg
Korrektorat: Brigitta Keul, München
Herstellung: Martha Kürzl-Harrison, mkuerzl@pearson.de
Satz: mazzetti & mazzetti, München (www.mazzetti.de)
Einbandgestaltung: Thomas Arlt, tarlt@adesso21.net
Druck und Verarbeitung: Print Consult GmbH
Printed in the Slovak republic

Inhaltsübersicht

TEIL I	Grundlagen der Mikrobiologie	1
Kapitel 1	Mikroorganismen und Mikrobiologie	3
Kapitel 2	Überblick über das mikrobielle Leben	25
Kapitel 3	Makromoleküle	43
Kapitel 4	Zellstruktur und Zellfunktion	61
Kapitel 5	Ernährung, Laborkultivierung und Metabolismus von Organismen	111
Kapitel 6	Mikrobielles Wachstum	149
Kapitel 7	Grundlagen der Molekularbiologie	185
Kapitel 8	Die Regulation des Metabolismus	229
Kapitel 9	Grundlagen der Virologie	257
Kapitel 10	Bakteriengenetik	285
TEIL II	Mikrobielle Evolution und Vielfalt	333
Kapitel 11	Mikrobielle Evolution und Systematik	335
Kapitel 12	Die prokaryotische Vielfalt: Die Bakterien (<i>Bacteria</i>)	369
Kapitel 13	Die prokaryotische Vielfalt: Die <i>Archaea</i>	471
Kapitel 14	Zellbiologie der Eukaryonten und eukaryotischen Mikroorganismen	503
Kapitel 15	Mikrobielle Genomik	539
Kapitel 16	Vielfalt der Viren	567

TEIL III	Stoffwechselvielfalt und Ökologie der Mikroorganismen	599
Kapitel 17	Stoffwechselvielfalt	601
Kapitel 18	Methoden der mikrobiellen Ökologie	673
Kapitel 19	Ökologie der Mikroorganismen	695
TEIL IV	Immunologie und Pathogenität	757
Kapitel 20	Die Kontrolle des mikrobiellen Wachstums	759
Kapitel 21	Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Menschen ..	797
Kapitel 22	Grundlagen der Immunologie	827
Kapitel 23	Molekulare Immunologie	867
Kapitel 24	Diagnostische Mikrobiologie und Immunologie	887
TEIL V	Mikrobielle Krankheiten	931
Kapitel 25	Epidemiologie	933
Kapitel 26	Von Mensch zu Mensch übertragbare Krankheiten	969
Kapitel 27	Durch Wirbeltiere und Gliederfüßler übertragene sowie bodenassoziierte mikrobielle Erkrankungen	1013
Kapitel 28	Abwasserbehandlung, Wasseraufreinigung und wasserassoziierte mikrobielle Krankheiten	1037
Kapitel 29	Nahrungsmittelkonservierung und nahrungsmittel- assoziierte mikrobielle Krankheiten	1057
TEIL VI	Mikroorganismen in Industrie und Forschung	1079
Kapitel 30	Industrielle Mikrobiologie	1081
Kapitel 31	Gentechnologie und Biotechnologie	1113

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XXVII
TEIL I Grundlagen der Mikrobiologie	1
Kapitel 1 Mikroorganismen und Mikrobiologie	3
1.1 Einführung in die Mikrobiologie	4
1.1.1 Mikrobiologie	4
1.1.2 Mikroorganismen als Zellen	5
1.1.3 Mikroorganismen und ihre natürliche Umgebung	8
1.1.4 Der Einfluss von Mikroorganismen auf den Menschen	9
1.2 Die Entdeckung der Mikrobiologie	12
1.2.1 Die historischen Wurzeln der Mikrobiologie: Hooke, van Leeuwenhoek und Cohn	12
1.2.2 Pasteur, Koch und die Reinkulturen	14
1.2.3 Mikrobielle Diversität und die Entstehung der Allgemeinen Mikrobiologie	19
1.2.4 Die Ära der modernen Mikrobiologie	22
Verständnisfragen	24
Transferaufgaben	24
Kapitel 2 Überblick über das mikrobielle Leben	25
2.1 Zellstruktur und Evolutionsgeschichte	26
2.1.1 Zellelemente und virale Strukturen	26
2.1.2 Die Anordnung der DNA in mikrobiellen Zellen	29
2.1.3 Der Stammbaum des Lebens	30
2.2 Mikrobielle Diversität	32
2.2.1 Die physiologische Diversität von Mikroorganismen	32
2.2.2 Die Diversität der Prokaryonten	34
2.2.3 Eukaryotische Mikroorganismen	39
Verständnisfragen	41
Transferaufgaben	42
Kapitel 3 Makromoleküle	43
3.1 Chemische Bindungen und Wasser in lebenden Systemen	44
3.1.1 Starke und schwache chemische Bindungen	44
3.1.2 Ein Überblick über Makromoleküle und Wasser als Lösungsmittel des Lebens	47

3.2	Nicht informationstragende Makromoleküle	49
3.2.1	Polysaccharide	49
3.2.2	Lipide	50
3.3	Informationstragende Makromoleküle	51
3.3.1	Nucleinsäuren	51
3.3.2	Aminosäuren und die Peptidbindung	53
3.3.3	Proteine: Primär- und Sekundärstruktur	56
3.3.4	Proteine: Höhere Strukturordnung und Denaturierung	57
	Verständnisfragen	59
	Transferaufgaben	59
Kapitel 4	Zellstruktur und Zellfunktion	61
4.1	Mikroskopie und Zellmorphologie	62
4.1.1	Die Lichtmikroskopie	63
4.1.2	Dreidimensionale Bilderzeugung: Interferenzkontrast-, Rasterkraft- und konfokale Rasterlasermikroskopie	67
4.1.3	Elektronenmikroskopie	69
4.1.4	Zellmorphologie und der biologische Vorteil kleiner Zellen	70
4.2	Zellmembranen und Zellwände	73
4.2.1	Die Cytoplasmamembran: Struktur	73
4.2.2	Die Cytoplasmamembran: Funktion	76
4.2.3	Membrantransportsysteme	78
4.2.4	Die Zellwand von Prokaryonten: Peptidoglycan und verwandte Moleküle	81
4.2.5	Die äußere Membran gramnegativer <i>Bacteria</i>	86
4.3	Oberflächenstrukturen und Zelleinschlüsse von Prokaryonten	89
4.3.1	Bakterielle Zelloberflächenstrukturen	89
4.3.2	Zelleinschlüsse	91
4.3.3	Gasvesikel	93
4.3.4	Endosporen	94
4.4	Mikrobielle Bewegung	100
4.4.1	Geißeln und Beweglichkeit	100
4.4.2	Die Gleitbewegung	103
4.4.3	Zellbewegung als Verhaltensreaktion: Chemotaxis und Phototaxis . .	105
	Verständnisfragen	109
	Transferaufgaben	109

Kapitel 5	Ernährung, Laborkultivierung und Metabolismus von Organismen	111
5.1	Ernährung und Kultivierung von Mikroorganismen	112
5.1.1	Mikrobielle Ernährung	113
5.1.2	Kulturmedien	116
5.1.3	Die Laborkultur von Mikroorganismen	118
5.2	Energetik und Enzyme	120
5.2.1	Bioenergetik	120
5.2.2	Katalyse und Enzyme	121
5.3	Oxidations-Reduktion und energiereiche Verbindungen	124
5.3.1	Oxidations-Reduktion	124
5.3.2	NAD als Elektronenüberträger bei Redoxreaktionen	126
5.3.3	Energereiche Verbindungen und Energiespeicherung	128
5.4	Die wichtigsten Wege des Katabolismus, des Elektronentransports und der protonenmotorischen Kraft	129
5.4.1	Energiespeicherung: Verschiedene Möglichkeiten	130
5.4.2	Glycolyse als Beispiel für eine Fermentation	130
5.4.3	Atmung und membrangebundene Elektronenüberträger	132
5.4.4	Energiespeicherung aus der protonenmotorischen Kraft	136
5.5	Kohlenstofffluss bei der Atmung und Alternativen des Katabolismus	139
5.5.1	Kohlenstofffluss bei der Atmung: Der Citronensäurezyklus	139
5.5.2	Alternativen des Katabolismus	140
5.6	Biosynthese	143
5.6.1	Die Biosynthese von Zuckern und Polysacchariden	143
5.6.2	Die Biosynthese von Aminosäuren und Nucleotiden	145
5.6.3	Biosynthese der Fettsäuren und Lipide	146
	Verständnisfragen	147
	Transferaufgaben	148
Kapitel 6	Mikrobielles Wachstum	149
6.1	Die bakterielle Zellteilung	150
6.1.1	Zellwachstum und Zweiteilung	150
6.1.2	Fts-Proteine, Zellteilungsebene und Zellmorphologie	151
6.1.3	Peptidoglycansynthese und Zellteilung	153
6.2	Wachstum von Bakterienpopulationen	155
6.2.1	Terminologie des Wachstums und das Prinzip des exponentiellen Wachstums	155
6.2.2	Die Mathematik des exponentiellen Wachstums	156
6.2.3	Der Wachstumskreislauf	157
6.3	Messung mikrobiellen Wachstums	159
6.3.1	Direkte Messung mikrobiellen Wachstums: Gesamtkeimzahlzählung und Lebendkeimzahlzählung	159

6.3.2	Indirekte Messung mikrobiellen Wachstums: Trübung	162
6.3.3	Die kontinuierliche Kultur: Der Chemostat	164
6.4	Umwelteinflüsse auf mikrobielles Wachstum: Temperatur	166
6.4.1	Der Einfluss der Temperatur auf das Wachstum	166
6.4.2	Mikrobielles Wachstum und kalte Temperaturen	168
6.4.3	Mikrobielles Wachstum bei hohen Temperaturen	171
6.5	Umwelteinflüsse auf das mikrobielle Wachstum:	
	pH-Wert, Osmolarität und Sauerstoff	173
6.5.1	Mikrobielles Wachstum bei hohen und niedrigen pH-Werten	173
6.5.2	Osmotische Einflüsse auf das mikrobielle Wachstum	175
6.5.3	Sauerstoff und mikrobielles Wachstum	178
6.5.4	Toxische Formen des Sauerstoffs	180
	Verständnisfragen	182
	Transferaufgaben	183
Kapitel 7 Grundlagen der Molekularbiologie		185
7.1	Gene und Genexpression	186
7.1.1	Makromoleküle und genetische Information	186
7.2	Die DNA-Struktur	188
7.2.1	DNA-Struktur: Die Doppelhelix	188
7.2.2	DNA-Struktur: Überspiralisierung	191
7.2.3	Chromosomen und andere genetische Elemente	194
7.3	DNA-Replikation	196
7.3.1	DNA-Replikation: Matrizen und Enzyme	196
7.3.2	DNA-Replikation: Die Replikationsgabel	197
7.4	Werkzeuge der DNA-Technologie	202
7.4.1	Restriktionsenzyme und Hybridisierung	202
7.4.2	Sequenzierung und DNA-Synthese	205
7.4.3	DNA-Amplifizierung: Die Polymerasekettenreaktion	207
7.5	Die RNA-Synthese: Transkription	209
7.5.1	Überblick über die Transkription	209
7.5.2	Die Vielfalt der Sigma-Faktoren, Konsensussequenzen und weitere RNA-Polymerasen	211
7.5.3	Transkriptionsterminatoren	213
7.5.4	Die Transkriptionseinheit	214
7.6	Die Proteinsynthese	215
7.6.1	Der genetische Code	215
7.6.2	Die Transfer-RNA	219
7.6.3	Translation: Der Vorgang der Proteinsynthese	221
7.6.4	Die Faltung und Ausscheidung von Proteinen	224
	Verständnisfragen	227
	Transferaufgaben	227

Kapitel 8	Die Regulation des Metabolismus	229
8.1	Überblick über die Regulation	230
8.1.1	Die wichtigsten Arten der Regulation	230
8.2	Die Regulation der Enzymaktivität	231
8.2.1	Die nichtkovalente Enzymhemmung	231
8.2.2	Kovalente Modifikation von Enzymen	233
8.3	DNA-Bindeproteine und die Regulation der Transkription durch positive und negative Kontrolle	235
8.3.1	DNA-Bindeproteine	235
8.3.2	Die negative Kontrolle der Transkription: Repression und Induktion	238
8.3.3	Die positive Kontrolle der Transkription	240
8.4	Globale Regulationsmechanismen	241
8.4.1	Globale Kontrolle und das <i>lac</i> -Operon	242
8.4.2	Die stringente Antwort	243
8.4.3	Weitere Netzwerke globaler Kontrolle	245
8.4.4	<i>Quorum sensing</i>	247
8.5	Weitere Regulationsmechanismen	248
8.5.1	Attenuation	248
8.5.2	Signaltransduktion und Zwei-Komponenten-Regulations-Systeme	250
8.5.3	Regulation der Chemotaxis	252
8.5.4	RNA-Regulation und Riboswitches	254
	Verständnisfragen	256
	Transferaufgaben	256
Kapitel 9	Grundlagen der Virologie	257
9.1	Virus und Virion	259
9.1.1	Allgemeine Eigenschaften von Viren	259
9.1.2	Die Natur der Virionen	260
9.2	Wachstum und Quantifizierung	263
9.2.1	Der Viruswirt	263
9.2.2	Die Quantifizierung von Viren	264
9.3	Die virale Replikation	265
9.3.1	Allgemeine Merkmale der Virusreplikation	265
9.3.2	Virusreplikation: Anheften und Eindringen	267
9.3.3	Virusmultiplikation: Bildung viraler Nucleinsäure und viraler Proteine	268
9.4	Die virale Diversität	271
9.4.1	Überblick über bakterielle Viren	271
9.4.2	Virulente Bakteriophagen und T4	271
9.4.3	Temperente Bakteriophagen	273
9.4.4	Der Bakteriophage Lambda	274

9.4.5	Überblick über die tierischen Viren	278
9.4.6	Retroviren	280
9.5	Subvirale Partikel	282
9.5.1	Viroide und Prionen	282
	Verständnisfragen	284
	Transferaufgaben	284
 Kapitel 10 Bakteriengenetik		 285
10.1	Mutation und Rekombination	286
10.1.1	Mutationen und Mutanten	287
10.1.2	Die molekularen Grundlagen der Mutation	289
10.1.3	Mutationsraten	292
10.1.4	Mutagenese	293
10.1.5	Mutagenese und Karzinogenese: Der Ames-Test	296
10.1.6	Genetische Rekombination	297
10.2	Genetischer Austausch bei Prokaryonten	299
10.2.1	Transformation	299
10.2.2	Transduktion	303
10.2.3	Plasmide: Allgemeine Grundlagen	305
10.2.4	Typen von Plasmiden und ihre biologische Bedeutung	307
10.2.5	Konjugation: Die wichtigsten Merkmale	310
10.2.6	Die Bildung von Hfr-Stämmen und die Mobilisierung von Chromosomen	312
10.2.7	Komplementation	315
10.2.8	Transposone und Insertionssequenzen	316
10.3	Bakteriengenetik und Genklonierung	320
10.3.1	Grundlagen des molekularen Klonierens	320
10.3.2	Plasmide als Klonierungsvektoren	321
10.3.3	Der Lambda-Bakteriophage als Klonierungsvektor	323
10.3.4	<i>In vitro</i> und locuspezifische Mutagenese	325
10.4	Das bakterielle Chromosom	327
10.4.1	Die genetische Karte des Chromosoms von <i>Escherichia coli</i>	328
	Verständnisfragen	331
	Transferaufgaben	332

TEIL II	Mikrobielle Evolution und Vielfalt	333
Kapitel 11	Mikrobielle Evolution und Systematik	335
11.1	Die frühe Erde, der Ursprung des Lebens und die mikrobielle Vielfalt	337
11.1.1	Evolution der Erde und früheste Lebensformen	337
11.1.2	Frühes Leben: Die RNA-Welt und molekulare Kodierung	339
11.1.3	Frühes Leben: Energie- und Kohlenstoffmetabolismus	341
11.1.4	Eukaryonten und Organellen: Endosymbiose	343
11.2	Methoden zur Bestimmung evolutionärer Verwandtschaften	346
11.2.1	Evolutionäre Zeitmesser	346
11.2.2	Ribosomale RNA-Sequenzierung als Instrument der molekularen Evolution	347
11.2.3	Signatursequenzen, phylogenetische Sonden und Analysen mikrobieller Gemeinschaften	349
11.3	Die mikrobielle Evolution	351
11.3.1	Die mikrobielle Phylogenie abgeleitet von ribosomalen RNA-Sequenzen	351
11.3.2	Eigenschaften der Domänen des Lebens	354
11.4	Mikrobielle Taxonomie und ihre Beziehung zur Phylogenie	356
11.4.1	Die klassische Taxonomie	356
11.4.2	Chemotaxonomie	359
11.4.3	Der Spezies-Begriff in der Mikrobiologie	362
11.4.4	Nomenklatur und <i>Bergey's Manual</i>	365
	Verständnisfragen	367
	Transferaufgaben	367
Kapitel 12	Die prokaryotische Vielfalt: Die Bakterien (<i>Bacteria</i>)	369
12.1	Die Stammesgeschichte der <i>Bacteria</i>	371
12.1.1	Übersicht über die Stammesgeschichte der <i>Bacteria</i>	372
12.2	Phylum 1: Proteobakterien	373
12.2.1	Phototrophe Purpurbakterien	373
12.2.2	Nitrifizierende Bakterien	377
12.2.3	Schwefel- und eisenoxidierende Bakterien	379
12.2.4	Wasserstoffoxidierende Bakterien	382
12.2.5	Methanotrophe und Methylo trope	384
12.2.6	<i>Pseudomonas</i> und die Pseudomonaden	387
12.2.7	Essigsäurebakterien	391
12.2.8	Frei lebende, aerobe, stickstofffixierende Bakterien	392
12.2.9	<i>Neisseria</i> , <i>Chromobacterium</i> und Verwandte	394
12.2.10	Enterobakterien	395

12.2.11	<i>Vibrio</i> und <i>Photobacterium</i>	399
12.2.12	Rickettsien	401
12.2.13	Spirillen	404
12.2.14	Proteobakterien mit Scheiden: <i>Sphaerotilus</i> und <i>Leptothrix</i>	407
12.2.15	Knospende und prosthekate/gestielte Bakterien	410
12.2.16	Gleitende Myxobakterien	414
12.2.17	Sulfat- und schwefelreduzierende Proteobakterien	417
12.3	Phyla 2 und 3: Grampositive Bakterien (Firmicutes) und Actinobacteria	420
12.3.1	Nichtsporenbildende grampositive Bakterien mit niedrigem GC-Wert: Milchsäurebakterien und Verwandte	420
12.3.2	Sporenbildende grampositive Bakterien mit niedrigem GC-Wert: <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium</i> und Verwandte	426
12.3.3	Zellwandlose grampositive Bakterien mit niedrigem GC-Wert (Mollicutes): Die Mycoplasmen	432
12.3.4	Grampositive Bakterien mit hohem GC-Gehalt (Actinobacteria): Coryneforme und Propionsäurebakterien	434
12.3.5	Actinobacteria: <i>Mycobacterium</i>	436
12.3.6	Filamentöse Actinobacteria: <i>Streptomyces</i> und andere Actinomyceten	439
12.4	Phylum 4: Cyanobakterien und Prochlorophyta	444
12.4.1	Cyanobakterien	444
12.4.2	Prochlorophyta und Chloroplasten	447
12.5	Phylum 5: Chlamydia	449
12.5.1	Die Chlamydien	449
12.6	Phylum 6: Planctomyces/Pirellula	452
12.6.1	<i>Planctomyces</i> : Ein stammesgeschichtlich einzigartiges, gestieltes Bakterium	452
12.7	Phylum 7: Die Verrucomicrobia	453
12.7.1	<i>Verrucomicrobium</i> und <i>Prostheco bacter</i>	453
12.8	Phylum 8: Die Flavobakterien	454
12.8.1	<i>Bacteroides</i> und <i>Flavobacterium</i>	454
12.9	Phylum 9: Die Cytophaga-Gruppe	455
12.9.1	<i>Cytophaga</i> und Verwandte	455
12.10	Phylum 10: Grüne Schwefelbakterien	456
12.10.1	<i>Chlorobium</i> und andere Grüne Schwefelbakterien	456
12.11	Phylum 11: Die Spirochäten	459
12.11.1	Spirochäten	459
12.12	Phylum 12: Deinococci	463
12.12.1	<i>Deinococcus-Thermus</i>	463
12.13	Phylum 13: Die Grünen Nicht-Schwefel-Bakterien	464
12.13.1	<i>Chloroflexus</i> und Verwandte	465
12.14	Phyla 14-16: Tief verzweigte hyperthermophile Bakterien	466
12.14.1	<i>Thermotoga</i> und <i>Thermodesulfobacterium</i>	466
12.14.2	<i>Aquifex</i> , <i>Thermocrinis</i> und Verwandte	467

12.15	Phyla 17 und 18: Nitrospira und Deferribacter	468
12.15.1	<i>Nitrospira</i> , <i>Deferribacter</i> und Verwandte	468
	Verständnisfragen	470
	Transferaufgaben	470
Kapitel 13	Die prokaryotische Vielfalt: Die Archaea	471
13.1	Phylogenie und allgemeiner Metabolismus	472
13.1.1	Energiekonservierung und Autotrophie bei <i>Archaea</i>	473
13.2	Das Phylum der Euryarchaeota	474
13.2.1	Extrem halophile <i>Archaea</i>	474
13.2.2	Methanbildende <i>Archaea</i> : Die Methanogenen	479
13.2.3	Thermoplasmatales: <i>Thermoplasma</i> , <i>Picrophilus</i> und <i>Ferroplasma</i>	483
13.2.4	Hyperthermophile Euryarchaeota: Thermococcales und <i>Methanopyrus</i>	485
13.2.5	Hyperthermophile Euryarchaeota: Die Archaeoglobales	486
13.3	Das Phylum der Crenarchaeota	487
13.3.1	Habitate und Energiemetabolismus der Crenarchaeota	487
13.3.2	Hyperthermophile aus vulkanischen Habitaten auf dem Festland: Sulfolobales und Thermoproteales	490
13.3.3	Hyperthermophile aus vulkanischen Habitaten im Meer: Desulfurococcales	493
13.4	Das Phylum der Nanoarchaeota	495
13.4.1	<i>Nanoarchaeum</i>	495
13.5	Evolution und Leben bei hohen Temperaturen	496
13.5.1	Hitzestabilität und Biomoleküle	496
13.5.2	Hyperthermophile <i>Archaea</i> , H ₂ und die mikrobielle Evolution	499
	Verständnisfragen	501
	Transferaufgaben	501
Kapitel 14	Zellbiologie der Eukaryonten und eukaryotischen Mikroorganismen	503
14.1	Struktur und Funktion der eukaryotischen Zelle	504
14.1.1	Die Struktur der Eukaryontenzelle und der Zellkern	505
14.1.2	Organellen der Atmung und der Gärung: Mitochondrien und Hydrogenosomen	506
14.1.3	Organellen der Photosynthese: Chloroplasten	507
14.1.4	Endosymbiose: Die Beziehung von Mitochondrien und Plastiden zu den Bakterien	508
14.1.5	Weitere Organellen und Strukturen der eukaryotischen Zelle	510
14.2	Grundlagen der Genetik und Molekularbiologie von Eukaryonten	512
14.2.1	Die Replikation linearer DNA	512

14.2.2	Übersicht über die Genetik der Eukaryonten	514
14.2.3	Ribozyme und RNA-Prozessierung	516
14.3	Vielfalt der eukaryotischen Mikroorganismen	518
14.3.1	Phylogenie der <i>Eukarya</i>	518
14.3.2	Protozoa	522
14.3.3	Schleimpilze (Mycetozoa)	526
14.3.4	Pilze	528
14.3.5	Algen	532
	Verständnisfragen	537
	Transferaufgaben	538
Kapitel 15	Mikrobielle Genomik	539
15.1	Genomische Klonierungstechniken	541
15.1.1	Vektoren für die genomische Klonierung und Sequenzierung	541
15.1.2	Genomsequenzierung	544
15.1.3	Zuordnung der Genominformation	545
15.2	Mikrobielle Genome	547
15.2.1	Prokaryotische Genome: Größe und ORF-Gehalt	547
15.2.2	Prokaryotische Genome: Bioinformatische Analyse und Genverteilung	549
15.2.3	Genome eukaryotischer Mikroorganismen	553
15.3	Weitere Genome und Genomevolution	554
15.3.1	Organellengenome	554
15.3.2	Evolution und Genfamilien	558
15.3.3	„Schatzsuche im Genom“	559
15.4	Genfunktion und Genregulation	561
15.4.1	Proteomik	561
15.4.2	<i>Mikroarrays</i> und das Transkriptom	562
	Verständnisfragen	565
	Transferaufgaben	566
Kapitel 16	Vielfalt der Viren	567
16.1	Viren der Prokaryonten	568
16.1.1	RNA-Bakteriophagen	568
16.1.2	Ikosaedrische Bakteriophagen mit einzelsträngiger DNA	570
16.1.3	Filamentöse Bakteriophagen mit einzelsträngiger DNA	572
16.1.4	Bakteriophagen mit doppelsträngiger DNA: Der Phage T7	573
16.1.5	Phage Mu: Ein transponierbarer Bakteriophage mit doppelsträngiger DNA	576
16.1.6	Viren der <i>Archaea</i>	578

16.2	Viren der Eukaryonten	579
16.2.1	Pflanzenviren	579
16.2.2	Positivstrang-RNA-Viren der Tiere: Poliovirus und Coronaviren	581
16.2.3	Negativstrang-RNA-Viren der Tiere: Tollwut, Influenza und verwandte Viren	584
16.2.4	Doppelstrang-RNA-Viren: Reoviren	587
16.2.5	Die Replikation doppelsträngiger DNA-Viren in Tieren	588
16.2.6	Doppelsträngige DNA-Viren: Herpesviren	590
16.2.7	Doppelsträngige DNA-Viren: Pockenviren	591
16.2.8	Doppelsträngige DNA-Viren: Adenoviren	593
16.2.9	Viren mit Reverser Transkriptase: Retroviren und Hepadnaviren	593
	Verständnisfragen	597
	Transferaufgaben	598

TEIL III Stoffwechselvielfalt und Ökologie der Mikroorganismen 599

Kapitel 17 Stoffwechselvielfalt 601

17.1	Die phototrophe Lebensweise	604
17.1.1	Die Photosynthese	604
17.1.2	Photosynthesepigmente und ihre Lokalisation innerhalb der Zelle	605
17.1.3	Carotinoide und Phycobiline	609
17.1.4	Anoxygene Photosynthese	611
17.1.5	Oxygene Photosynthese	615
17.1.6	Die autotrophe Kohlendioxidfixierung: Der Calvinzyklus	618
17.1.7	Die autotrophe Kohlendioxidfixierung: Der umgekehrte Citronensäurezyklus und der Hydroxypropionatzyklus	620
17.2	Chemolithotrophie: Energiegewinnung durch die Oxidation anorganischer Elektronendonatoren	621
17.2.1	Anorganische Elektronendonatoren und Energetik	621
17.2.2	Wasserstoffoxidation	622
17.2.3	Die Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen	623
17.2.4	Eisenoxidation	626
17.2.5	Nitrifizierung und anoxische Ammoniakoxidation	629
17.3	Die anaerobe Lebensweise: Anaerobe Atmungen	631
17.3.1	Anaerobe Atmung	631
17.3.2	Nitratreduktion und der Denitrifikationsprozess	633
17.3.3	Sulfatreduktion	635
17.3.4	Acetogenese	638
17.3.5	Methanogenese	640
17.3.6	Fe ³⁺ , Mangan, Chlorat und organische Elektronenakzeptoren	644

17.4	Die anaerobe Lebensweise: Gärungen und Syntrophie	647
17.4.1	Gärungen: Energetik und Betrachtungen zu Redoxprozessen	647
17.4.2	Vielfalt der Gärungen	649
17.4.3	Syntrophie	652
17.5	Kohlenwasserstoffoxidation und die Rolle des Sauerstoffs im Katabolismus organischer Verbindungen	654
17.5.1	Molekularer Sauerstoff als Reaktionspartner bei biochemischen Reaktionen	654
17.5.2	Kohlenwasserstoffoxidation	655
17.5.3	Methanotrophie und Methylotrophie	656
17.5.4	Stoffwechsel der Hexosen, Pentosen und Polysaccharide	658
17.5.5	Stoffwechsel organischer Säuren	661
17.5.6	Lipide als mikrobielle Nährstoffe	663
17.6	Stickstofffixierung	664
17.6.1	Nitrogenase und der Ablauf der Stickstofffixierung	664
17.6.2	Genetik und Regulation der Stickstofffixierung	668
	Verständnisfragen	670
	Transferaufgaben	671
Kapitel 18 Methoden der mikrobiellen Ökologie		673
18.1	Kulturabhängige Analysen mikrobieller Gemeinschaften	674
18.1.1	Anreicherung und Isolierung	675
18.1.2	Isolierung von Reinkulturen	679
18.2	Molekulare (kulturunabhängige) Analysen mikrobieller Gemeinschaften	681
18.2.1	Bestimmung der Lebensfähigkeit und Quantifizierung mittels Färbemethoden	681
18.2.2	Genetische Färbemethoden	684
18.2.3	Verknüpfung bestimmter Gene mit bestimmten Organismen durch PCR	685
18.2.4	Umweltgenomik (Metagenomik)	688
18.3	Die Messung mikrobieller Aktivitäten in der Natur	689
18.3.1	Radioisotope und Mikroelektroden	689
18.3.2	Stabile Isotope	692
	Verständnisfragen	694
	Transferaufgaben	694

Kapitel 19	Ökologie der Mikroorganismen	695
19.1	Mikrobielle Ökosysteme	697
19.1.1	Populationen, Gilden und Gemeinschaften	697
19.1.2	Umwelten und Mikroumwelten	697
19.1.3	Mikroorganismenwachstum auf Oberflächen und in Biofilmen	700
19.2	Mikrobielle Habitate im Boden und im Süßwasser	702
19.2.1	Terrestrische Umwelten	702
19.2.2	Süßwasserumwelten	706
19.3	Marine Mikrobiologie	708
19.3.1	Marine Habitate und mikrobielle Verteilung	708
19.3.2	Mikrobiologie der Tiefsee	711
19.3.3	Hydrothermale Quellen	712
19.4	Die Kreisläufe des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs	716
19.4.1	Der Kohlenstoffkreislauf	716
19.4.2	Syntrophie und Methanogenese	719
19.4.3	Der Kohlenstoffkreislauf in Wiederkäuern	723
19.5	Andere wichtige Nährstoffkreisläufe	727
19.5.1	Der Stickstoffkreislauf	727
19.5.2	Der Schwefelkreislauf	729
19.5.3	Der Eisenkreislauf	730
19.6	Mikrobielle Umweltsanierung	734
19.6.1	Mikrobielle Erzlaugung	734
19.6.2	Quecksilber und Schwermetalltransformationen	736
19.6.3	Biologischer Erdölabbau	738
19.6.4	Biologischer Abbau von Xenobiotika	740
19.7	Mikrobielle Wechselwirkungen mit Pflanzen	743
19.7.1	Der Lebensraum Pflanze	743
19.7.2	Flechten und Mycorrhiza	744
19.7.3	Agrobacterium und Wurzelhalsgallen	746
19.7.4	Wurzelknöllchenbakterien und die Leguminosensymbiose	749
	Verständnisfragen	755
	Transferaufgaben	756

TEIL IV	Immunologie und Pathogenität	757
Kapitel 20	Die Kontrolle des mikrobiellen Wachstums	759
20.1	Methoden zur antimikrobiellen Kontrolle auf physikalischer Basis	761
20.1.1	Hitzesterilisation	761
20.1.2	Sterilisation durch Strahlung	764
20.1.3	Filtersterilisation	766
20.2	Methoden zur antimikrobiellen Kontrolle auf chemischer Basis	768
20.2.1	Chemische Wachstumskontrolle	769
20.2.2	Chemische Agenzien mit antimikrobieller Wirkung zur äußerlichen Anwendung	770
20.3	Antimikrobielle Agenzien für die Anwendung im lebenden Organismus	773
20.3.1	Synthetische Wirkstoffe mit antimikrobieller Wirkung	773
20.3.2	Natürlich vorkommende Wirkstoffe mit antimikrobieller Wirkung: Antibiotika	777
20.3.3	β -Lactam-Antibiotika: Penicilline und Cephalosporine	778
20.3.4	Antibiotika aus Prokaryonten	780
20.4	Kontrolle von Viren und eukaryotischen Pathogenen	781
20.4.1	Antivirale Wirkstoffe	781
20.4.2	Antimycotische Wirkstoffe	784
20.5	Resistenz gegen antimikrobielle Wirkstoffe und die Entwicklung neuer Wirkstoffe	786
20.5.1	Resistenz gegen antimikrobielle Wirkstoffe	786
20.5.2	Die Suche nach neuen antimikrobiellen Wirkstoffen	792
	Verständnisfragen	795
	Transferaufgaben	795
Kapitel 21	Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Menschen	797
21.1	Nutzbringende Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Menschen	798
21.1.1	Übersicht über Mensch-Mikroben-Wechselwirkungen	799
21.1.2	Die normale Mikroflora der Haut	800
21.1.3	Die normale Mikroflora der Mundhöhle	801
21.1.4	Die normale Mikroflora des Magen-Darm-Traktes	804
21.1.5	Die normale Mikroflora anderer Körperregionen	806
21.2	Schädliche Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Menschen	808
21.2.1	Das Eindringen von Pathogenen in den Wirtsorganismus	809
21.2.2	Kolonisierung und Wachstum	811
21.2.3	Virulenz	812

21.3	Virulenzfaktoren und Toxine	815
21.3.1	Virulenzfaktoren	815
21.3.2	Exotoxine	816
21.3.3	Enterotoxine	819
21.3.4	Endotoxine	820
21.4	Wirtsfaktoren bei Infektionen	822
21.4.1	Risikofaktoren für Infektionen auf Seiten des Wirtes	822
21.4.2	Angeborene Resistenz gegen Infektion	823
	Verständnisfragen	825
	Transferaufgaben	826
Kapitel 22 Grundlagen der Immunologie		827
22.1	Übersicht über die Immunantwort	830
22.1.1	Zellen und Organe des Immunsystems	830
22.1.2	Die angeborene Immunantwort	833
22.1.3	Entzündung, Fieber und septischer Schock	837
22.1.4	Die adaptive Immunantwort	838
22.2	Antigene, T-Zellen und zelluläre Immunität	839
22.2.1	Immunogene und Antigene	839
22.2.2	Antigenpräsentation und T-Zellen	841
22.2.3	Cytotoxische T-Zellen und natürliche Killerzellen	844
22.2.4	T-Helferzellen: Die Aktivierung des Immunsystems	845
22.3	Antikörper und Immunität	847
22.3.1	Antikörper (Immunglobuline)	847
22.3.2	Antikörperproduktion	850
22.3.3	Komplement, Antikörper und Pathogenzerstörung	852
22.4	Immunität und die Prävention von Infektionskrankheiten	855
22.4.1	Natürliche Immunität	855
22.4.2	Künstliche Immunität	856
22.4.3	Neue Impfstrategien	859
22.5	Krankheiten infolge fehlgeleiteter Immunreaktionen	860
22.5.1	Allergien, Überempfindlichkeiten und Autoimmunität	860
22.5.2	Superantigene	864
	Verständnisfragen	865
	Transferaufgaben	866

Kapitel 23 Molekulare Immunologie 867

23.1	Rezeptoren und Immunität	869
23.1.1	Angeborene Immunität und Mustererkennung	869
23.1.2	Adaptive Immunität und die Superfamilie der Immunglobuline	870
23.2	Der Haupthistokompatibilitätskomplex (MHC)	872
23.2.1	MHC-Protein-Strukturen	872
23.2.2	MHC-Gene und Polymorphismen	874
23.3	Antikörper	875
23.3.1	Antikörperproteine und Antigenbindung	875
23.3.2	Antikörpergene und Antikörpervielfalt	876
23.4	T-Zell-Rezeptoren	878
23.4.1	TCR-Proteine und Antigenbindung	878
23.4.2	TCR-Gene und TCR-Vielfalt	879
23.5	Molekulare Immunitätssignale	879
23.5.1	Klonale Selektion und Toleranz	880
23.5.2	Sekundärsignale	882
23.5.3	Cytokine und Chemokine	883
	Verständnisfragen	885
	Transferaufgaben	886

Kapitel 24 Diagnostische Mikrobiologie und Immunologie 887

24.1	Diagnostische Methoden, die auf Zellwachstum beruhen	888
24.1.1	Isolation von Pathogenen aus klinischen Proben	888
24.1.2	Wachstumsabhängige Methoden der Identifizierung	895
24.1.3	Test der Empfindlichkeit gegen antimikrobielle Wirkstoffe	898
24.1.4	Sicherheit im mikrobiologischen Laboratorium	901
24.2	Immunologische und klinische Methoden der Diagnostik	903
24.2.1	Immuntests auf Infektionskrankheiten	903
24.2.2	Polyklonale und monoklonale Antikörper	907
24.2.3	Antigen-Antikörper-Reaktionen <i>in vitro</i> : Serologie	909
24.2.4	Agglutination	911
24.2.5	Fluoreszierende Antikörper	913
24.2.6	ELISA (Enzym-gekoppelter Immunadsorptionstest) und RIA (Radioimmuntest)	916
24.2.7	Immunoblotverfahren	921
24.3	Molekulare und visuelle Methoden der Diagnostik	924
24.3.1	Nucleinsäure-Methoden	924
24.3.2	Diagnostische Virologie	927
	Verständnisfragen	929
	Transferaufgaben	930

TEIL V	Mikrobielle Krankheiten	931
Kapitel 25	Epidemiologie	933
25.1	Prinzipien der Epidemiologie	934
25.1.1	Die Wissenschaft von der Epidemiologie	935
25.1.2	Das Vokabular der Epidemiologie	935
25.1.3	Krankheitsreservoir und Epidemien	938
25.1.4	Die Übertragung infektiöser Krankheiten	941
25.1.5	Die Gemeinschaft der Wirte	943
25.2	Gegenwärtige Epidemien	945
25.2.1	Die AIDS-Pandemie	946
25.2.2	In Krankenhäusern erworbene Infektionen (nosokomiale Infektionen)	947
25.2.3	Das schwere akute Atemwegssyndrom (SARS)	949
25.3	Epidemiologie und öffentliche Gesundheit	950
25.3.1	Öffentliche Gesundheitsmaßnahmen zur Kontrolle von Krankheiten	950
25.3.2	Überlegungen zur globalen Gesundheitsvorsorge	954
25.3.3	Neue und wiederkehrende Infektionskrankheiten	955
25.3.4	Biologische Kriegsführung und biologische Waffen	962
25.3.5	Milzbrand als biologische Waffe	964
	Verständnisfragen	966
	Transferaufgaben	967
Kapitel 26	Von Mensch zu Mensch übertragbare Krankheiten	969
26.1	Krankheitsübertragung durch die Luft	970
26.1.1	Luftgetragene Pathogene	971
26.1.2	Streptokokken-Krankheiten	972
26.1.3	<i>Corynebacterium</i> und Diphtherie	975
26.1.4	<i>Bordetella</i> und Keuchhusten	976
26.1.5	<i>Mycobacterium</i> , Tuberkulose und Lepra	977
26.1.6	<i>Neisseria meningitidis</i> , Hirnhautentzündung und Meningokokkämie	981
26.1.7	Viren und Atemwegsinfektionen	982
26.1.8	Erkältung und Grippe (Influenza)	985
26.2	Krankheitsübertragung durch direkten Kontakt	988
26.2.1	<i>Staphylococcus</i>	989
26.2.2	<i>Helicobacter pylori</i> und das Magengeschwür	990
26.2.3	Hepatitisviren	992

26.3	Krankheitsübertragung durch Sexualkontakt	994
26.3.1	Gonorrhöe und Syphilis	995
26.3.2	Chlamydien, Herpes und Trichomoniasis	998
26.3.3	Das erworbene Immunschwächesyndrom AIDS und HIV	1001
	Verständnisfragen	1011
	Transferaufgaben	1011

Kapitel 27 Durch Wirbeltiere und Gliederfüßler übertragene sowie bodenassoziierte mikrobielle Erkrankungen 1013

27.1	Krankheiten, die durch Wirbeltiere übertragen werden	1014
27.1.1	Tollwut	1015
27.1.2	Hantavirus-Pulmonarsyndrom	1017
27.2	Krankheiten, die durch Gliederfüßler übertragen werden	1018
27.2.1	Durch Rickettsien verursachte Krankheiten	1018
27.2.2	Lyme-Krankheit (Lyme-Borreliose)	1021
27.2.3	Malaria	1024
27.2.4	West-Nil-Virus	1028
27.2.5	Pest	1029
27.3	Bodenassoziierte Infektionskrankheiten	1032
27.3.1	Pathogene Pilze	1032
27.3.2	Wundstarrkrampf (Tetanus)	1034
	Verständnisfragen	1036
	Transferaufgaben	1036

Kapitel 28 Abwasserbehandlung, Wasseraufreinigung und wasserassoziierte mikrobielle Krankheiten 1037

28.1	Abwasserbehandlung und Wasseraufbereitung	1038
28.1.1	Öffentliche Gesundheit und Wasserqualität	1039
28.1.2	Abwasser und Abwasseraufbereitung	1041
28.1.3	Trinkwasserreinigung	1044
28.2	Wasserassoziierte mikrobielle Krankheiten	1047
28.2.1	Infektionsquellen wasserassoziiierter Erreger	1047
28.2.2	Cholera	1048
28.2.3	Giardiose und Cryptosporidiose	1050
28.2.4	Die Legionärskrankheit (Legionellose)	1052
28.2.5	Typhus und andere wasserassoziierte Krankheiten	1053
	Verständnisfragen	1055
	Transferaufgaben	1055

Kapitel 29	Nahrungsmittelkonservierung und nahrungsmittel- assoziierte mikrobielle Krankheiten	1057
29.1	Nahrungsmittelkonservierung und mikrobielles Wachstum	1058
29.1.1	Mikrobielles Wachstum und Nahrungsmittelzersetzung	1059
29.1.2	Nahrungsmittelkonservierung	1060
29.1.3	Fermentierte Nahrungsmittel	1063
29.2	Mikrobielle Probennahme und Lebensmittelvergiftung	1065
29.2.1	Nahrungsmittelassoziierte Krankheiten und mikrobielle Probennahme	1065
29.2.2	Lebensmittelvergiftung durch Staphylokokken	1067
29.2.3	Lebensmittelvergiftung durch Clostridien	1068
29.3	Nahrungsmittelinfektionen	1071
29.3.1	Salmonellose	1071
29.3.2	Pathogene <i>Escherichia-coli</i> -Stämme	1072
29.3.3	<i>Campylobacter</i>	1074
29.3.4	Listeriose	1074
29.3.5	Andere nahrungsmittelassoziierte Infektionskrankheiten	1075
	Verständnisfragen	1077
	Transferaufgaben	1078
TEIL VI	Mikroorganismen in Industrie und Forschung	1079
Kapitel 30	Industrielle Mikrobiologie	1081
30.1	Industrielle Mikroorganismen und Produktbildung	1082
30.1.1	Industrielle Mikroorganismen und ihre Produkte	1083
30.1.2	Primär- und Sekundärmetabolite	1084
30.1.3	Merkmale der Fermentationen im großen Maßstab	1085
30.1.4	Anpassung der Fermentation an große Maßstäbe	1087
30.2	Die wichtigsten Produkte für die Gesundheitsindustrie	1089
30.2.1	Antibiotika: Isolierung und Beschreibung	1089
30.2.2	Industrielle Produktion von Penicillinen und Tetracyclinen	1092
30.2.3	Vitamine und Aminosäuren	1094
30.2.4	Steroide und Biotransformation	1095
30.2.5	Enzyme als industrielle Produkte	1097
30.3	Die wichtigsten Produkte für die Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie	1100
30.3.1	Alkohol und alkoholische Getränke	1100
30.3.2	Essigherstellung	1106
30.3.3	Citronensäure und andere organische Bestandteile	1107

30.3.4	Hefe als Nahrungsmittel und Nahrungsmittelzusatz	1108
30.3.5	Pilze als Nahrungsmittel	1109
	Verständnisfragen	1110
	Transferaufgaben	1111
Kapitel 31 Gentechnologie und Biotechnologie		1113
31.1	Die Techniken der Gentechnologie	1114
31.1.1	Überblick über die Prinzipien der Gentechnologie	1115
31.1.2	Wirte für Klonierungsvektoren	1116
31.1.3	Das Finden des richtigen Klons	1118
31.1.4	Spezialisierte Vektoren	1120
31.1.5	Expression von Säugetiergenen in Bakterien	1123
31.2	Praktischen Anwendungen der Gentechnologie	1126
31.2.1	Die Herstellung von Insulin: Der Beginn der kommerziellen Biotechnologie	1126
31.2.2	Weitere Säugetierproteine und Säugetierprodukte	1128
31.2.3	Gentechnisch hergestellte Vakzinen	1130
31.2.4	Gentechnologie bei Tieren und Humangenetik	1132
31.2.5	Gentechnologie der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen: Transgene Pflanzen	1135
	Verständnisfragen	1138
	Transferaufgaben	1139
Anhang		1141
Anhang 1	Energieberechnungen und mikrobielle Bioenergetik	1142
Anhang 2	Genera und Taxa höherer Ordnung	1147
Anhang 3	Glossar	1161
Anhang 4	Index	1181