

# Inhaltsübersicht

---

Vorwort		XLIV
<b>Teil I</b>	<b>Die Grundlagen der Mikrobiologie</b>	<b>1</b>
Kapitel 1	Die Welt der Mikroben . . . . .	3
Kapitel 2	Mikrobielle Zellstrukturen und ihre Funktionen . . . . .	45
Kapitel 3	Mikrobieller Stoffwechsel . . . . .	93
Kapitel 4	Der Fluss der molekularen Information und die Proteinprozessierung . . . . .	133
<b>Teil II</b>	<b>Mikrobielles Wachstum und Regulation</b>	<b>177</b>
Kapitel 5	Das Wachstum von Mikroorganismen und seine Kontrolle . . . . .	179
Kapitel 6	Regulatorische Systeme von Mikroorganismen . . . . .	229
Kapitel 7	Molekularbiologie des Mikrobewachstums . . . . .	267
Kapitel 8	Viren und ihre Replikation . . . . .	295
<b>Teil III</b>	<b>Genomik und Genetik</b>	<b>321</b>
Kapitel 9	Systembiologie der Mikroben . . . . .	323
Kapitel 10	Genomik, Diversität und Ökologie von Viren. . . . .	365
Kapitel 11	Genetik der <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> . . . . .	405
Kapitel 12	Biotechnologie und synthetische Biologie . . . . .	439
<b>Teil IV</b>	<b>Mikrobielle Evolution und Vielfalt</b>	<b>481</b>
Kapitel 13	Die Evolution und Systematik der Mikroben . . . . .	483
Kapitel 14	Die metabolische Diversität von Mikroorganismen. . . . .	523
Kapitel 15	Die funktionale Diversität von Mikroorganismen . . . . .	597
Kapitel 16	Die Diversität der <i>Bacteria</i> . . . . .	653
Kapitel 17	Die Diversität der <i>Archaea</i> . . . . .	703
Kapitel 18	Die Diversität der mikrobiellen <i>Eukarya</i> . . . . .	739
<b>Teil V</b>	<b>Mikrobielle Ökologie und Umweltmikrobiologie</b>	<b>773</b>
Kapitel 19	Wie man mikrobielle Systeme misst . . . . .	775
Kapitel 20	Mikrobielle Ökosysteme. . . . .	817
Kapitel 21	Nahrungskreisläufe. . . . .	865
Kapitel 22	Mikrobiologie der vom Menschen bebauten Umwelt. . . . .	893
Kapitel 23	Mikrobielle Symbiosen mit Mikroben, Pflanzen und Tieren . . . . .	925

<b>Teil VI</b>	<b>Mikrobe-Mensch-Interaktionen und das Immunsystem</b>	<b>971</b>
Kapitel 24	Symbiosen von Mikroben mit dem Menschen .....	973
Kapitel 25	Mikrobielle Infektionen und Pathogenese .....	1011
Kapitel 26	Die angeborene Immunität: die weitgreifende Wirtsabwehr .....	1035
Kapitel 27	Die adaptive Immunität: hochspezifische Verteidigung des Wirts ..	1065
Kapitel 28	Klinische Mikrobiologie und Immunologie .....	1107
<b>Teil VII</b>	<b>Infektionskrankheiten und ihre Übertragung</b>	<b>1157</b>
Kapitel 29	Epidemiologie .....	1159
Kapitel 30	Bakterien- und Virenkrankheiten, die von Mensch zu Mensch übertragen werden .....	1193
Kapitel 31	Bakterielle und virale Krankheiten, die durch Vektoren und Erde übertragen werden .....	1237
Kapitel 32	Bakterien- und Virenkrankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden .....	1263
Kapitel 33	Eukaryotische Pathogene: <i>Fungi</i> , Protozoen und Helminthen .....	1295
Anhang A:	Energieberechnungen und mikrobielle Bioenergetik	1314
Anhang B:	Genera und Taxa höherer Ordnung	1320
Bildnachweis		1337
Stichwortverzeichnis		1348

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Vorwort</b>	<b>XLIV</b>
Vorwort zur amerikanischen Ausgabe .....	XLIV
Was ist neu in der 15. Ausgabe? .....	XLIV
Vorwort der deutschen Ausgabe .....	XLVII
<b>Teil I Die Grundlagen der Mikrobiologie</b>	<b>1</b>
<b>Kapitel 1 Die Welt der Mikroben</b>	<b>3</b>
<b>I Erforschung der Welt der Mikroben</b>	<b>4</b>
1.1 Mikroorganismen, winzige Titanen der Erde .....	4
1.2 Struktur und Aktivitäten von mikrobiellen Zellen .....	5
Bestandteile der Struktur von Mikroben .....	5
Gene, Genome, Kerne und das Nucleoid .....	7
Aktivitäten mikrobieller Zellen .....	7
1.3 Mikroorganismen und die Biosphäre .....	8
Eine kurze Geschichte des Lebens auf der Erde .....	8
Mikrobielle Fülle und Aktivität in der Biosphäre .....	10
1.4 Der Einfluss von Mikroorganismen auf die menschliche Gemeinschaft ....	11
Mikroorganismen als Krankheitserreger .....	11
Mikroorganismen, Landwirtschaft und die menschliche Ernährung .....	12
Mikroorganismen und Nahrung .....	14
Mikroorganismen und Industrie .....	14
<b>II Mikroskopie und die Ursprünge der Mikrobiologie</b>	<b>16</b>
1.5 Die Lichtmikroskopie und die Entdeckung von Mikroorganismen .....	16
1.6 Kontrastverbesserung im Lichtmikroskop .....	19
Färbung: Kontrasterhöhung für die Hellfeldmikroskopie .....	19
Differenzielle Färbungen: Die Gramfärbung .....	19
Phasenkontrast- und Dunkelfeldmikroskopie .....	20
Fluoreszenzmikroskopie .....	21
1.7 Dreidimensionale Darstellung von Zellen .....	21
Das differenzielle Interferenzkontrastmikroskop .....	21
Die konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie .....	22
1.8 Untersuchung von Zellstrukturen: Das Elektronenmikroskop .....	23
Elektronenmikroskope .....	23
Das Transmissionselektronenmikroskop .....	23
Das Rasterelektronenmikroskop .....	23
<b>III Die Kultivierung von Mikroben erweitert den Horizont der Mikrobiologie</b>	<b>24</b>
1.9 Pasteur und die Spontanzeugung .....	25
Mikroben als Ursache von Gärungen .....	25
Spontanzeugung .....	26
Weitere Leistungen von Louis Pasteur .....	27
1.10 Koch, Infektionskrankheiten und Reinkulturen .....	27
Die Keimtheorie der Krankheiten und die Koch'schen Postulate .....	28
Koch, Reinkulturen, und mikrobielle Taxonomie .....	28
Koch und Tuberkulose .....	30

1.11	Entdeckung der mikrobiellen Diversität . . . . .	30
	Martinus Beijerinck und die Methode der Anreicherungskultur . . . . .	31
	Sergei Winogradsky, die Chemolithotrophie und die Stickstofffixierung . . . . .	31
<b>IV Die Molekularbiologie und die Einheitlichkeit und Diversität des Lebens</b>		<b>32</b>
1.12	Molekulare Grundlagen des Lebens . . . . .	32
	Die Einheit in der Biochemie . . . . .	32
	Aufklärung des genetischen Codes . . . . .	33
1.13	Woese und der Stammbaum des Lebens . . . . .	34
	Molekularsequenzdaten haben die mikrobielle Phylogenie revolutioniert . . . . .	34
	Der Stammbaum des Lebens gemäß der rRNA-Gene . . . . .	36
	Die mikrobielle Diversität . . . . .	36
1.14	Eine Einführung in das mikrobielle Leben . . . . .	37
	<i>Bacteria</i> . . . . .	37
	<i>Archaea</i> . . . . .	38
	<i>Eukarya</i> . . . . .	39
	Viren . . . . .	39
<b>Kapitel 2 Mikrobielle Zellstrukturen und ihre Funktionen</b>		<b>45</b>
<b>I Zellen der <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i></b>		<b>46</b>
2.1	Morphologie der Zellen . . . . .	46
	Die wesentlichen Morphologien prokaryotischer Zellen . . . . .	46
	Morphologie und Biologie . . . . .	46
2.2	Die Welt des Kleinen . . . . .	47
	Das Verhältnis von Zelloberfläche zu Zellvolumen, Wachstumsgeschwindigkeit und Evolution . . . . .	49
	Die untere Grenze der Zellgröße . . . . .	49
<b>II Die Cytoplasmamembran und die Zellwand</b>		<b>51</b>
2.3	Die Cytoplasmamembran . . . . .	51
	Die bakterielle Cytoplasmamembran . . . . .	51
	Archaeelle Membranen . . . . .	52
	Funktionen der Cytoplasmamembran . . . . .	54
2.4	Bakterielle Zellwände: das Peptidoglykan . . . . .	55
	Struktur des Peptidoglykans . . . . .	55
	Die Zellwand grampositiver Zellen . . . . .	57
2.5	LPS: die äußere Membran . . . . .	58
	Struktur und Aktivität des LPS . . . . .	58
	Das Periplasma und die Porine . . . . .	60
2.6	Die Zellwand von Archaeen . . . . .	60
	Pseudomurein und andere Polysaccharidzellwände . . . . .	60
	S-Layer (Hüllproteine) . . . . .	61
<b>III Strukturen der Zelloberflächen und Einschlüsse</b>		<b>62</b>
2.7	Strukturen der Zelloberfläche . . . . .	62
	Kapseln und Schleimschichten . . . . .	62
	Fimbrien, Pili und Hami . . . . .	63
2.8	Zelleinschlüsse . . . . .	64
	Kohlenstoffspeichernde Polymere . . . . .	64
	Polyphosphate, Schwefel und Carbonatminerale . . . . .	65
	Magnetische Speichereinschlüsse: Magnetosomen . . . . .	66
2.9	Gasvesikel . . . . .	66
	Die Struktur von Gasvesikeln . . . . .	67

2.10	Endosporen . . . . .	68
	Bildung und Keimung von Endosporen . . . . .	68
	Die Struktur und Eigenschaften von Endosporen . . . . .	69
	Der Sporulationsvorgang . . . . .	70
	Vielfalt und phylogenetische Aspekte der Endosporenbildung . . . . .	71
<b>IV Bewegung von Zellen</b>		<b>72</b>
2.11	Flagellen, „Archaellen“ und das Schwimmen . . . . .	72
	Bakterielle Geißeln . . . . .	72
	Die Struktur von Geißeln . . . . .	73
	Synthese der Flagellen . . . . .	74
	Archaeele Geißeln . . . . .	75
2.12	Das Gleiten . . . . .	76
	Unterschiedliche Gleitbewegungen . . . . .	76
	Mechanismen der Gleitbewegung . . . . .	77
2.13	Chemotaxis und andere Taxien . . . . .	77
	Chemotaxis peritrich begeißelter Bakterien . . . . .	78
	Chemotaxis bei polar begeißelten Bakterien . . . . .	79
	Die Messung der Chemotaxis . . . . .	79
	Phototaxis und andere Taxien . . . . .	80
<b>V Eukaryotische Mikrobenzellen</b>		<b>81</b>
2.14	Der Zellkern und die Zellteilung . . . . .	81
	Der Zellkern . . . . .	82
	Die Zellteilung . . . . .	83
2.15	Mitochondrien, Hydrogenosomen und Chloroplasten . . . . .	83
	Mitochondrien . . . . .	84
	Hydrogenosomen . . . . .	84
	Chloroplasten . . . . .	85
	Organellen und Endosymbiose . . . . .	85
2.16	Weitere Zellstrukturen von Eukaryoten . . . . .	86
	Das endoplasmatische Reticulum, der Golgi-Apparat und die Lysosomen . . . . .	86
	Mikrotubuli, Mikrofilamente und Intermediärfilamente . . . . .	86
	Flagellen und Cilien . . . . .	87
<b>Kapitel 3 Mikrobieller Stoffwechsel</b>		<b>93</b>
<b>I Mikrobielle Nährstoffe und deren Aufnahme</b>		<b>94</b>
3.1	Nährstoffe für mikrobielle Zellen . . . . .	94
	Chemische Zusammensetzung einer Zelle . . . . .	95
	Kohlenstoff, Stickstoff und weitere Makronährstoffe . . . . .	95
	Mikronährstoffe: Spurenelemente und Wachstumsfaktoren . . . . .	95
3.2	Transport von Nährstoffen in die Zelle . . . . .	97
	Aktiver Transport und Transportsysteme . . . . .	97
	Einfache Transporter und die Gruppentranslokation . . . . .	97
	Periplasmatische Bindeproteine und das ABC-System . . . . .	98
<b>II Energetik, Enzyme und Redoxreaktionen</b>		<b>99</b>
3.3	Energieklassen der Mikroorganismen . . . . .	99
	Chemoorganotrophe, Chemolithotrophe, und Phototrophe . . . . .	99
	Heterotrophe und Autotrophe . . . . .	100
3.4	Die Bioenergetik . . . . .	100
	Grundlagen der Bioenergetik . . . . .	100
	Die freie Energie der Bildung und die Berechnung von $\Delta G^{0'}$ . . . . .	101
	$\Delta G^{0'}$ und $\Delta G$ . . . . .	102

3.5	Katalyse und Enzyme	102
	Enzyme	103
	Die enzymatische Katalyse	104
3.6	Elektronendonoren und Elektronenakzeptoren	104
	Redoxreaktionen	104
	Reduktionspotenziale und Redoxpaare	105
	Der Elektronenturm und seine Beziehung zu $\Delta G^{0'}$	106
	Elektronenüberträger und der NAD/NADH-Kreislauf	106
3.7	Energiereiche Verbindungen	107
	Adenosintriphosphat	108
	Das Coenzym A	108
	Energiespeicherung	109

### III Katabolismus: Fermentation und Atmung 109

3.8	Die Glykolyse und Fermentation	109
	Die drei Stufen der Glykolyse	110
	Vielfalt der Fermentation	111
	Praktische Ausnutzung von Gärungen und die Umschaltung von Gärung zu Atmung	112
3.9	Atmung: Citratzyklus und Glyoxylsäurezyklus	113
	Veratmung von Glucose	113
	Biosynthesen und der Citronensäurezyklus	113
	Der Glyoxylatzyklus	114
3.10	Die Atmung: Elektronenüberträger	115
	NADH-Dehydrogenasen und Flavoproteine	115
	Cytochrome, andere Eisen-Proteine und Chinone	116
3.11	Elektronentransport und die protonenmotorische Kraft	117
	Elektronentransport	117
	Die Bildung der protonenmotorischen Kraft: Komplexe I und II	118
	Die Komplexe III und IV: Cytochrome vom $bc_1$ - und vom $a$ -Typ	119
	Die ATP-Synthase	119
3.12	Möglichkeiten der Energiekonservierung	121
	Anaerobe Atmung	121
	Chemolithotrophie und Phototrophie	121
	PMF und katabole Diversität	122

### IV Biosynthesen 122

3.13	Zucker und Polysaccharide	122
	Synthese von Polysacchariden und die Gluconeogenese	122
	Metabolismus von Pentosen und der Pentosephosphatweg	123
3.14	Aminosäuren und Nucleotide	124
	Monomere der Proteine: Aminosäuren	124
	Monomere der Nucleinsäuren: Nucleotide	125
3.15	Fettsäuren und Lipide	126
	Die Biosynthese der Fettsäuren	126
	Die Lipidbiosynthese	126

## Kapitel 4 Der Fluss der molekularen Information und die Proteinprozessierung 133

### I Molekularbiologie und genetische Elemente 134

4.1	DNA und der Fluss der genetischen Information	134
	Eigenschaften der Doppelhelix	135
	Größe, Form und Supercoiling der DNA	136
	Gene und die Abfolge des Flusses der biologischen Information	137

4.2	Genetische Elemente: Chromosomen und Plasmide . . . . .	139
	Anordnung von Genen in Chromosomen und das Operon . . . . .	140
	Plasmide . . . . .	140
<b>II Kopieren der genetischen Blaupause: DNA-Replikation</b>		<b>142</b>
4.3	Matrizen, Enzyme und die Replikationsgabel . . . . .	142
	Replikationsenzyme . . . . .	142
	Initiation der DNA-Synthese . . . . .	144
	Leitstränge, Folgestränge und die Replikation . . . . .	144
4.4	Die bidirektionale Replikation, das Replisom und das Korrekturlesen . . . .	146
	Das Replisom . . . . .	146
	Die Genauigkeit der DNA-Replikation: das Korrekturlesen . . . . .	147
<b>III RNA-Synthese: Transkription</b>		<b>148</b>
4.5	Transkription bei <i>Bacteria</i> . . . . .	148
	RNA-Polymerasen und die Promotorsequenz . . . . .	149
	Sigmafaktoren, Konsensussequenzen und die Termination der Transkription . . . . .	150
	Transkriptionseinheiten und polycistronische mRNA . . . . .	151
	Termination der Transkription . . . . .	152
4.6	Transkription in <i>Archaea</i> und <i>Eukarya</i> . . . . .	153
	RNA-Polymerasen von Archaeen und Eukaryoten, Promotoren und Terminatoren . . . . .	153
	RNA-Prozessierung in Eukaryoten und Einschubsequenzen in <i>Archaea</i> . .	154
<b>IV Protein-Synthese: Translation</b>		<b>155</b>
4.7	Aminosäuren, Polypeptide und Proteine . . . . .	155
	Proteine . . . . .	155
	Zusammensetzung . . . . .	155
	Vielfalt und Strukturen von Proteinen . . . . .	156
4.8	Die Transfer-RNA . . . . .	158
	Allgemeiner Aufbau von Transfer-RNAs . . . . .	158
	Erkennung, Aktivierung und Beladung der tRNAs . . . . .	159
4.9	Die Translation und der genetische Code . . . . .	160
	Eigenschaften des genetischen Codes . . . . .	160
	Start- und Stoppcodons und Leserahmen . . . . .	161
4.10	Der Mechanismus der Proteinsynthese . . . . .	162
	Ribosomen und die Initiation der Translation . . . . .	162
	Elongation, Translokation und Termination . . . . .	163
	Die Rolle der ribosomalen RNA bei der Proteinsynthese . . . . .	164
	Die Freisetzung blockierter Ribosomen . . . . .	165
<b>V Prozessierung, Sekretion und Zielführung von Proteinen</b>		<b>165</b>
4.11	Unterstützte Proteinfaltung und Chaperone . . . . .	165
	Wesentliche Chaperone von <i>Bacteria</i> . . . . .	166
	Weitere Funktionen von Chaperonen . . . . .	167
4.12	Proteinsekretion: das Sec- und das Tat-System . . . . .	168
	Die Signalsequenz . . . . .	168
	Sec- und Tat-Translokasen . . . . .	168
4.13	Proteinsekretion: gramnegative Systeme . . . . .	169
	Typ-II- und Typ-V-Sekretionssysteme . . . . .	169
	Typ-I-, Typ-III-, Typ-IV-, und Typ-VI-Sekretionssysteme . . . . .	170

<b>Teil II</b>	<b>Mikrobielles Wachstum und Regulation</b>	177
<b>Kapitel 5</b>	<b>Das Wachstum von Mikroorganismen und seine Kontrolle</b>	179
<b>I Zellteilung und Wachstum von Populationen</b>		180
5.1	Zweiteilung, Knospung und Biofilme . . . . .	180
	Zellgenerationen und die Generationszeit . . . . .	181
	Die Zellteilung durch Knospung . . . . .	181
	Biofilme . . . . .	182
5.2	Quantitative Betrachtung des Wachstums von Mikroben . . . . .	182
	Das Aufzeichnen von Wachstumsdaten . . . . .	183
	Die Mathematik des exponentiellen Wachstums . . . . .	184
	Die spezifische Wachstumsrate . . . . .	184
	Konsequenzen des exponentiellen Wachstums . . . . .	184
5.3	Der mikrobielle Wachstumszyklus . . . . .	185
	Die Exponentielle Phase . . . . .	185
	Stationäre und Absterbephase . . . . .	186
5.4	Die kontinuierliche Kultur . . . . .	187
	Der Chemostat und das Gleichgewichtsprinzip . . . . .	187
	Experimenteller Einsatz des Chemostats . . . . .	188
<b>II Anzucht von Mikroben und Messung ihres Wachstums</b>		189
5.5	Wachstumsmedien und die Laborkultur . . . . .	189
	Klassen von Kulturmedien . . . . .	189
	Nährstoffbedarf und Fähigkeit zur Biosynthese . . . . .	191
	Die Laborkultur . . . . .	191
5.6	Bestimmung der Zellzahl über Mikroskopie . . . . .	193
	Bestimmung der Gesamtkeimzahl . . . . .	193
	Zellzahlbestimmungen in der mikrobiellen Ökologie . . . . .	194
5.7	Lebendkeimzahlbestimmung . . . . .	195
	Methoden für die Lebendkeimzahlbestimmung . . . . .	195
	Fehlerquellen beim Plattierungsverfahren . . . . .	196
	Anwendungen des Plattierungsverfahrens . . . . .	196
	Die große Anomalie des Plattierungsverfahrens . . . . .	197
5.8	Bestimmung der Zellzahl über Trübungsmessungen . . . . .	197
	Die optische Dichte und ihr Verhältnis zur Zellzahl . . . . .	198
	Weitere Aspekte der Trübungsmessung . . . . .	199
<b>III Umwelteinflüsse auf das Wachstum: Temperatur</b>		199
5.9	Temperaturklassen von Mikroorganismen . . . . .	199
	Kardinaltemperaturen . . . . .	199
	Die Temperaturklassen der Organismen . . . . .	200
5.10	Mikrobielles Leben in der Kälte . . . . .	201
	Kalte Lebensumgebungen . . . . .	201
	Psychophile und psychrotolerante Mikroorganismen . . . . .	202
	Molekulare Anpassungen an das Leben in der Kälte . . . . .	203
5.11	Mikrobielles Leben bei hohen Temperaturen . . . . .	203
	Thermale Lebensumgebungen . . . . .	204
	Hyperthermophile und Thermophile . . . . .	205
	Stabilität von Proteinen und Membranen bei hoher Temperatur . . . . .	205
<b>IV Umwelteinflüsse auf das Wachstum: pH, Osmolarität und Sauerstoff</b>		207
5.12	Einfluss des pH auf das mikrobielle Wachstum . . . . .	207
	Acidophile . . . . .	207



Alkaliphile .....	208
Der pH-Wert im Zellinneren und Puffer .....	208
5.13 Osmolarität und mikrobielles Wachstum .....	209
Halophile und verwandte Organismen .....	209
Kompatible gelöste Stoffe .....	210
5.14 Sauerstoff und mikrobielles Wachstum .....	212
Die Sauerstoffklassen der Mikroorganismen .....	212
Kulturtechniken für Aerobe und Anaerobe .....	213
Warum ist Sauerstoff toxisch? .....	214
Die Superoxiddismutase und andere Enzyme, die toxischen Sauerstoff zerstören .....	214
<b>V Kontrolle des Wachstums von Mikroben</b> .....	<b>215</b>
5.15 Allgemeine Prinzipien und Wachstumskontrolle durch Hitze .....	215
Hitzesterilisation .....	215
Der Autoklav und das Pasteurisieren .....	216
5.16 Andere Methoden der physikalischen Kontrolle: Strahlung und Filtration ..	218
Ultraviolette und ionisierende Strahlung .....	218
Sterilisation durch Filter .....	219
5.17 Chemische Kontrolle des mikrobiellen Wachstums .....	220
Effekte antimikrobieller Wirkstoffe auf das Wachstum .....	221
Messung der antimikrobiellen Wirkung .....	221
Chemische antimikrobielle Wirkstoffe .....	222
<b>Kapitel 6 Regulatorische Systeme von Mikroorganismen</b> .....	<b>229</b>
<b>I DNA-Bindeproteine und Transkriptionsregulation</b> .....	<b>230</b>
6.1 DNA-Bindproteine .....	230
Interaktionen von Proteinen mit Nucleinsäuren .....	230
Struktur der DNA-Bindeproteine .....	231
6.2 Negative Kontrolle: Repression und Induktion .....	232
Enzymrepression und Induktion .....	232
Induktoren und Corepressoren .....	233
Der Mechanismus der Repression und der Induktion .....	233
6.3 Positive Kontrolle: Aktivierung .....	234
Der Maltosekatabolismus bei <i>Escherichia coli</i> .....	235
Die Bindung von Aktivatorproteinen .....	235
Operons und Regulons .....	236
6.4 Allgemeine Kontrollen und das <i>lac</i> -Operon .....	236
Die Katabolitrepression .....	237
Zyklisches AMP und das zyklische AMP-Rezeptorprotein .....	237
6.5 Transkriptionskontrolle bei den <i>Archaea</i> .....	239
Kontrolle der Stickstoff-Assimilation in <i>Archaea</i> .....	239
Doppelt wirkende Transkriptionsregulatoren von <i>Archaea</i> .....	240
<b>II Signalerkennung und Signaltransduktion</b> .....	<b>241</b>
6.6 Zweikomponenten-Regulationssysteme .....	241
Beispiele für Zweikomponentensysteme .....	242
Zweikomponentensysteme mit mehreren Regulatoren .....	243
6.7 Regulation der Chemotaxis .....	244
Die Reaktion auf ein Signal .....	244
Steuerung der Geißelrotation .....	244
Die Adaptation .....	245
Weitere Taxien .....	245

6.8	Quorum sensing .....	245
	Der Mechanismus des Quorum sensing .....	246
	Virulenzfaktoren .....	247
6.9	Die stringente Antwort .....	248
	Mechanismen der stringenten Antwort .....	248
	Die stringente Antwort und die Ökologie von Mikroorganismen .....	249
6.10	Andere globale Regulations-Netzwerke .....	250
	Das Phosphat-Regulon (Pho-Regulon) .....	251
	Hitzeschockproteine .....	252
	Die Hitzeschockantwort .....	252
	Die generelle Stressantwort: Das RpoS-Regulon .....	253
<b>III Regulation über RNA</b> .....		254
6.11	Regulatorische RNAs .....	254
	Mechanismen der sRNA-Aktivität .....	254
	Verschiedene Arten kleiner RNAs .....	255
6.12	Riboswitches .....	256
	Mechanismen der Riboswitches .....	256
	Riboswitches und die Evolution .....	257
6.13	Attenuation .....	257
	Attenuation im Tryptophan-Operon .....	257
	Der Mechanismus der Attenuation .....	258
<b>IV Regulation von Enzymen und anderen Proteinen</b> .....		259
6.14	Die Rückkopplungshemmung .....	259
	Isoenzyme .....	259
6.15	Post-translationale Regulationen .....	260
	Die Regulation von PII-Signaltransduktionsproteinen .....	260
	Inaktivierung von Sigmafaktoren .....	262
<b>Kapitel 7 Molekularbiologie des Mikробenwachstums</b> .....		267
<b>I Zellteilung von Bakterien</b> .....		268
7.1	Darstellung des molekularen Wachstums .....	269
	Fluoreszenzmarkierung .....	269
	Superauflösende Techniken .....	270
7.2	Die Replikation und Verteilung von Chromosomen .....	270
	Regulation der Initiation der Chromosomenreplikation .....	271
	Genomreplikation in schnellwachsenden Zellen .....	271
	Die Segregation von Chromosomen .....	272
7.3	Die Zellteilung und FtsZ-Proteine .....	274
	Das Divisom .....	274
	Min-Proteine und die Zellteilung .....	274
7.4	MreB und die Morphologie der Zelle .....	275
	Die Zellgestalt und MreB .....	276
	Crescentin .....	276
	Die Evolution der Zellteilung und der Zellgestalt .....	277
7.5	Die Synthese von Peptidoglykan .....	277
	Einbau von neuem Peptidoglykan .....	278
	Die Transpeptidierung .....	278
<b>II Regulation der Entwicklung von Modellbakterien</b> .....		279
7.6	Die Regulation der Endosporenbildung .....	280
	Die Bildung der Endosporen: Sporulationsfaktoren .....	280
	Die Ausbildung der Endospore: alternative Sigmafaktoren .....	280
	Nährstoffe für die Ausbildung von Endosporen .....	281

7.7	Die Differenzierung in <i>Caulobacter</i> . . . . .	281
	Regulatorische Besonderheiten . . . . .	281
	<i>Caulobacter</i> und der Zellzyklus von Eukaryoten . . . . .	282
7.8	Die Ausbildung von Heterocysten bei <i>Anabaena</i> . . . . .	282
	Bildung der Heterocysten . . . . .	283
	Regulation der Heterocystenbildung . . . . .	283
7.9	Bildung von Biofilmen . . . . .	284
	Die einzelnen Schritte bei der Biofilmbildung . . . . .	284
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> und Biofilme . . . . .	285
	<i>Vibrio cholerae</i> und Biofilme . . . . .	286
<b>III Antibiotika und das mikrobielle Wachstum</b> . . . . .		286
7.10	Zielorte für und Resistenz gegen Antibiotika . . . . .	286
	Antibiotika, die wesentliche molekulare Vorgänge beeinflussen . . . . .	286
	Antibiotika, die an der Cytoplasmamembran und der Zellwand angreifen . . . . .	287
	Antibiotikum-Resistenz: spontane Mutationen und die Modifikation von Antibiotika . . . . .	288
	Antibiotikum-Resistenz: Effluxpumpen und metabolischer Bypass . . . . .	288
7.11	Die Persistenz und das Ruhestadium von Zellen . . . . .	289
	Toxin-Antitoxin-Module . . . . .	290
	Schritte zum Ruhestadium . . . . .	290
<b>Kapitel 8 Viren und ihre Replikation</b> . . . . .		295
<b>I Die Natur der Viren</b> . . . . .		296
8.1	Was ist ein Virus? . . . . .	296
	Bestandteile und Aktivitäten von Viren . . . . .	296
	Virale Genome . . . . .	296
8.2	Struktur von Virionen . . . . .	297
	Die Struktur der Virionen . . . . .	297
	Virussymmetrie . . . . .	298
	Viren mit Hülle . . . . .	299
	Enzyme in Virionen . . . . .	299
8.3	Übersicht zum Lebenszyklus eines Virus . . . . .	300
8.4	Die Kultivierung, Detektion und Quantifizierung von Viren . . . . .	302
	Detektion und Quantifizierung von Viren: der Plaquetest . . . . .	302
	Die Plattierungseffizienz zur Bestimmung der Virentiter . . . . .	303
<b>II Der virale Replikationszyklus</b> . . . . .		303
8.5	Anheftung und Eindringen des Bakteriophagen T4 . . . . .	304
	Anheftung . . . . .	304
	Eindringen . . . . .	305
	Restriktion und Modifikation . . . . .	305
8.6	Die Replikation des Bakteriophagen T4 . . . . .	307
	Die Genomreplikation und die zirkuläre Permutation . . . . .	307
	Transkription und Translation . . . . .	307
	Die Verpackung des T4-Genoms, der Zusammenbau des Virus und seine Freisetzung . . . . .	308
8.7	Temperente Bakteriophagen und die Lysogenie . . . . .	309
	Der Replikationszyklus eines temperenten Phagen . . . . .	309
	Der Bakteriophage Lambda . . . . .	310
	Lyse oder Lysogenie: Regulation des Lebensstils von Lambda . . . . .	311
8.8	Eine Übersicht der Virusinfektionen von Tieren . . . . .	312
	Virusinfektionen der tierischen Zellen . . . . .	313
	Zusammenbau der Virionen und Auswirkungen der Infektion . . . . .	314
	Retroviren und die Reverse Transkriptase . . . . .	314

<b>Teil III</b>	<b>Genomik und Genetik</b>	321
<b>Kapitel 9</b>	<b>Systembiologie der Mikroben</b>	<b>323</b>
<b>I Genomik</b>		<b>324</b>
9.1	Einführung in die Genomik . . . . .	324
	Genomik: früher und heute . . . . .	324
	Was können Genome uns lehren? . . . . .	326
9.2	Sequenzierung und Annotation von Genomen . . . . .	327
	DNA-Sequenzierung . . . . .	327
	Genom-Assembly und Annotation . . . . .	328
	Auffinden und Identifizierung von ORFs . . . . .	329
	Genomanalyse: die endgültige Strichliste . . . . .	330
9.3	Genomgröße und Gengehalt von <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> . . . . .	331
	Kleine Genome . . . . .	331
	Große Genome . . . . .	332
	Gengehalt bakterieller Genome . . . . .	332
9.4	Organelle und eukaryotische mikrobielle Genome . . . . .	334
	Das Chloroplastengenom . . . . .	335
	Mitochondriale Genome und Proteome . . . . .	336
	Genome und Introns einiger mikrobieller Eukaryoten . . . . .	337
<b>II Die Evolution von Genomen</b>		<b>338</b>
9.5	Genfamilien, Duplikationen und Deletionen . . . . .	338
	Paraloge, Orthologe und Genduplikationen . . . . .	338
	Duplikation gesamter Genome . . . . .	339
9.6	Horizontaler Gentransfer und das Mobilom . . . . .	339
	Die Entdeckung von horizontalem Gentransfer . . . . .	340
	Das Mobilom . . . . .	340
9.7	Coregenom versus Pangenom . . . . .	341
	Chromosomeninseln . . . . .	342
	Pathogenitätsinseln und die Evolution der Virulenz . . . . .	343
<b>III Funktionelle Omiks</b>		<b>344</b>
9.8	Metagenomik . . . . .	344
	Beispiele für Metagenomuntersuchungen . . . . .	344
	Metagenomik und „Biom“-Untersuchungen . . . . .	345
9.9	Genchips und Transkriptomik . . . . .	346
	Mikroarrays und der DNA-Genchip . . . . .	346
	Die Bestimmung der Genexpression und weitere Anwendungen der Genchips . . . . .	347
	RNA-Seq-Analyse . . . . .	348
9.10	Proteomik und das Interaktom . . . . .	349
	Methoden der Proteomik . . . . .	350
	Anwendungen der Proteomik: eine Umweltstudie . . . . .	350
	Das Interaktom . . . . .	352
9.11	Metabolomik . . . . .	353
	Fortschritte der Metabolom-Techniken: NIMS . . . . .	353
	Die Anwendung der Metabolomik . . . . .	353
<b>IV Der Nutzwert der Systembiologie</b>		<b>354</b>
9.12	Einzelzell-Genomik . . . . .	355
	Isolierung der Zellen und Probenpräparation . . . . .	355
	Anwendung von Einzelzell-Omik . . . . .	356

9.13	Zusammenschau der Omik-Daten von <i>Mycobacterium tuberculosis</i> . . . . .	356
	Tuberkulose – Genexpression und regulatorische Netzwerke . . . . .	357
	Tuberkulose – Proteomik und Metabolomik . . . . .	357
9.14	Die Systembiologie und die menschliche Gesundheit . . . . .	358
	Das menschliche Genom und ENCODE . . . . .	359
	Personalisierte Omik-Profile und die Medizin . . . . .	359

**Kapitel 10 Genomik, Diversität und Ökologie von Viren 365**

**I Genome und Evolution von Viren 366**

10.1	Größe und Struktur viraler Genome . . . . .	366
	Das Baltimore-Schema: DNA-Viren . . . . .	366
	Das Baltimore-Schema: RNA Viren . . . . .	367
	Wirte für Viren der einzelnen Baltimore-Klassen . . . . .	368
	Die Synthese viraler Proteine . . . . .	369
10.2	Evolution der Viren . . . . .	369
	Daten der Proteomik unterstützen die Idee des frühen Auftretens von Viren . . . . .	369
	Der Übergang von RNA zu DNA . . . . .	370
	Die Phylogenie der Viren . . . . .	370

**II DNA-Viren 372**

10.3	Einzelsträngige DNA-Bakteriophagen: $\Phi$ X174 und M13 . . . . .	372
	Der Bakteriophage $\Phi$ X174 . . . . .	372
	Der Bakteriophage M13 . . . . .	373
10.4	Doppelsträngige DNA-Bakteriophagen: T7 und Mu . . . . .	374
	Der Bakteriophage T7 . . . . .	374
	Der Bakteriophage Mu . . . . .	375
10.5	Viren der <i>Archaea</i> . . . . .	376
	DNA-Viren von Archaeen . . . . .	376
	RNA-Viren von Archaeen . . . . .	377
10.6	Tierische Viren mit einer besonderen Form der Replikation . . . . .	378
	Pockenviren . . . . .	378
	Adenoviren . . . . .	379
10.7	DNA-Tumorviren . . . . .	379
	Das Polyomavirus SV40 . . . . .	379
	Herpesviren . . . . .	380

**III Viren mit RNA-Genomen 381**

10.8	RNA-Viren mit Positivstrang . . . . .	381
	Der Bakteriophage MS2 . . . . .	381
	Das Poliovirus . . . . .	382
	Coronaviren . . . . .	383
10.9	Tierische RNA-Viren mit Negativstrang . . . . .	384
	Das Tollwutvirus . . . . .	384
	Das Influenzavirus . . . . .	385
10.10	Doppelsträngige RNA-Viren . . . . .	386
	Die Replikation des Reovirus . . . . .	387
	Reoviren und ihre RNA-Replikation . . . . .	387
10.11	Viren, die Reverse Transkriptase verwenden . . . . .	388
	Retroviren: Integration viraler Gene in das Wirtsgenom . . . . .	388
	Retroviren: Die Induktion der Ausbildung neuer Virionen . . . . .	388
	Hepadnaviren . . . . .	390

<b>IV Die Ökologie von Viren</b>	<b>391</b>
10.12 Die bakterielle und archaeelle Virospäre . . . . .	391
Bakteriophagen und archaeelle Viren im Meerwasser . . . . .	391
Überlebensstrategien und Metagenomik von Viren in der Natur . . . . .	393
10.13 Abwehrmechanismen von <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> gegen Viren. . . . .	393
Das Wettrüsten der Mikroben . . . . .	393
Das antivirale System von <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> : CRISPR . . . . .	394
Immungedächtnis und weitere Aspekte von CRISPR . . . . .	395
10.14 Das Virom des Menschen . . . . .	395
Der menschliche Körper und sein Virom . . . . .	395
Bakteriophagen und das menschliche Virom . . . . .	397
<b>V Subvirale Agenzien</b>	<b>397</b>
10.15 Viroide . . . . .	398
Die Struktur der Viroide und ihre Funktion . . . . .	398
Durch Viroide verursachte Krankheiten . . . . .	398
10.16 Prionen. . . . .	399
Prionenproteine und der Infektionszyklus von Prionen . . . . .	399
Nichtpathogene Prionen . . . . .	400
<b>Kapitel 11 Genetik der <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i></b>	<b>405</b>
<b>I Mutationen</b>	<b>406</b>
11.1 Mutationen und Mutanten . . . . .	406
Isolierung von Mutanten: Auffinden und Selektion . . . . .	407
Isolierung auxotropher Mutanten . . . . .	408
11.2 Molekulare Grundlagen von Mutationen . . . . .	409
Basenpaar-Substitutionen: Missense-, Nonsense- und stille Mutationen . .	409
Leserasterwechsel und weitere Einschübe oder Deletionen . . . . .	410
11.3 Reversionen und Mutationsraten . . . . .	411
Reversionen (Rückmutationen) und Suppressoren . . . . .	411
Mutationsraten . . . . .	412
11.4 Mutagenese . . . . .	412
Chemische Mutagene und Strahlung . . . . .	412
DNA-Reparatur und das SOS-System . . . . .	414
<b>II Gentransfer in <i>Bacteria</i></b>	<b>415</b>
11.5 Genetische Rekombination . . . . .	416
Molekulare Ereignisse bei der homologen Rekombination . . . . .	416
Die Wirkung der homologen Rekombination auf den Genotyp . . . . .	417
Komplementation . . . . .	417
11.6 Transformation . . . . .	418
Die Kompetenz bei der Transformation . . . . .	418
Die Aufnahme und Integration von DNA bei der Transformation . . . . .	419
11.7 Transduktion . . . . .	420
Die allgemeine Transduktion . . . . .	420
Die Lyso-genie und die spezielle Transduktion . . . . .	421
Phagenkonversion . . . . .	422
Gentransfer-Agents . . . . .	422
11.8 Die Konjugation. . . . .	423
Das F-Plasmid . . . . .	423
Der Mechanismus des DNA-Transfers während der Konjugation . . . . .	424
11.9 Die Bildung von Hfr-Stämmen und die Chromosomenmobilisierung . . . . .	426
Die Integration eines F-Plasmids und die Chromosomenmobilisierung . . .	426
Übertragung chromosomaler Gene auf das F-Plasmid . . . . .	428

<b>III Gentransfer in <i>Archaea</i> und weitere genetische Ereignisse</b>	<b>428</b>
11.10 Horizontaler Gentransfer in <i>Archaea</i> . . . . .	428
Beispiel für Genetik mit <i>Archaea</i> . . . . .	429
Konjugation in <i>Archaea</i> . . . . .	429
11.11 Mobile DNA: transponierbare Elemente . . . . .	430
Transposons und Insertionssequenzen . . . . .	430
Der Mechanismus der Transposition . . . . .	431
Die Verwendung der Transposon-Mutagenese . . . . .	432
11.12 Erhaltung der Genomintegrität: die CRISPR-Interferenz. . . . .	433
Der CRISPR-Mechanismus . . . . .	433
Vorkommen von CRISPR . . . . .	434
<b>Kapitel 12 Biotechnologie und synthetische Biologie</b>	<b>439</b>
<b>I Werkzeuge der genetischen Ingenieure</b>	<b>440</b>
12.1 DNA-Manipulationen: PCR und Nucleinsäurehybridisierung . . . . .	440
PCR und Polymerasen . . . . .	440
PCR-Anwendungen und RT-PCR . . . . .	441
Gelelektrophorese und Nucleinsäurehybridisierung . . . . .	442
12.2 Molekulares Klonieren . . . . .	444
Eine Übersicht zum Klonieren von Genen . . . . .	444
Klonierungsvektoren . . . . .	445
Wirte für Klonierungsvektoren . . . . .	446
12.3 Expression fremder Gene in <i>Bacteria</i> . . . . .	446
Transkription und Translation klonierter Gene mittels	
Expressionsvektoren . . . . .	447
Klonierung von Genen über mRNA oder künstliche Synthese . . . . .	448
Proteinstabilität und Proteinreinigung . . . . .	448
12.4 Molekulare Methoden der Mutagenese . . . . .	449
Stellenspezifische Mutagenese . . . . .	449
Kassettenmutagenese und Genunterbrechungen . . . . .	450
12.5 Reportergene und Genfusionen . . . . .	451
Reportergene . . . . .	451
Genfusionen . . . . .	452
<b>II Biotechnologie: die Herstellung von Produkten mittels genetisch veränderter Mikroben</b>	<b>453</b>
12.6 Somatotropin und andere Säugerproteine. . . . .	453
Somatotropin . . . . .	453
Andere Säugerproteine . . . . .	454
12.7 Transgene Organismen in Landwirtschaft und Aquakultur . . . . .	455
Das Ti-Plasmid und transgene Pflanzen . . . . .	456
Herbizid- und insektenresistente Pflanzen . . . . .	457
Transgene Fische . . . . .	458
12.8 Veränderte Vakzine und Therapeutika. . . . .	459
Rekombinante Vakzine, Vaccinia-Virus und Untereinheiten-Vakzine . . . . .	459
Pathogene und Antikörper als veränderte Antikrebs-Therapeutika . . . . .	460
12.9 Neue Daten aus Genomen und Veränderung von Stoffwechselwegen. . . . .	462
Neue Daten aus Umweltgenomen . . . . .	462
Stoffwechselweg-Veränderungen: Die Indigo-Synthese . . . . .	463
12.10 Biokraftstoffherstellung und Genetic engineering. . . . .	464
Bakterielle Umsetzung von Switchgrass zu Ethanol . . . . .	464
Alken- und Alkan-Produktion . . . . .	465
Mikroalgen und Biodiesel . . . . .	466

<b>III Synthetische Biologie und Genomveränderungen</b>	<b>467</b>
12.11 Von synthetischen Stoffwechselwegen zu synthetischen Zellen . . . . .	467
Herstellung eines wesentlichen Lebensmittelbestandteils . . . . .	467
Synthetische Pharmazeutika: Artemisin und Malaria . . . . .	467
Fotografische <i>Escherichia coli</i> . . . . .	468
Synthetische Zellen . . . . .	469
12.12 Genomveränderungen und CRISPRs . . . . .	470
Sequenzerkennung durch das Cas9-Protein . . . . .	471
Ein Beispiel für CRISPR-Editing . . . . .	472
12.13 Biologische Sicherheit genetisch veränderter Organismen . . . . .	473
Frühe Eindämmungsstrategien . . . . .	473
Bioeindämmung durch Reprogrammieren des GMO-Genoms . . . . .	474

## **Teil IV      Mikrobielle Evolution und Vielfalt** **481**

### **Kapitel 13    Die Evolution und Systematik der Mikroben** **483**

#### **I Die frühe Erde, der Ursprung des Lebens und seine Entwicklung** **484**

13.1 Entstehung und Frühgeschichte der Erde . . . . .	484
Der Ursprung der Erde . . . . .	484
Der Ursprung zellulären Lebens . . . . .	485
Metabolische Diversifikation: Folgen für die Biosphäre der Erde . . . . .	487
13.2 Die Photosynthese und die Oxidation der Erde . . . . .	488
Die Sauerstoffanreicherung: Gebänderte Eisenformationen . . . . .	489
Die Ozonschutzschicht . . . . .	490
13.3 Lebende Fossilien: die DNA spiegelt die Geschichte des Lebens wider . . . . .	490
Carl Woese und der Stammbaum des Lebens . . . . .	490
Andere Einflüsse auf die Phylogenie . . . . .	491
13.4 Der endosymbiontische Ursprung der Eukaryoten . . . . .	492
Die Endosymbiose . . . . .	492
Die Entstehung der eukaryotischen Zelle . . . . .	493

#### **II Die Evolution der Mikroben** **494**

13.5 Der Vorgang der Evolution . . . . .	494
Ursprünge der genetischen Diversität . . . . .	494
Die Selektion und die genetische Drift . . . . .	495
Neue Eigenschaften können sich in Mikroorganismen schnell entwickeln . . . . .	495
Die Artbildung von Mikroorganismen kann lange dauern . . . . .	498
13.6 Die Evolution mikrobieller Genome . . . . .	499
Die dynamische Natur des <i>Escherichia coli</i> -Genoms . . . . .	499
Gendeletionen in mikrobiellen Genomen . . . . .	500

#### **III Die mikrobielle Phylogenie und die Systematik** **502**

13.7 Die molekulare Phylogenie: Wie molekulare Sequenzen Sinn machen können . . . . .	502
Wie man DNA-Sequenzen erhält . . . . .	502
Das Sequenz-Alignment . . . . .	504
Phylogenetische Stammbäume: Aufbau und Konstruktion . . . . .	505
Die Limitierungen von Stammbäumen . . . . .	506
13.8 Das Artkonzept in der Mikrobiologie . . . . .	508
Ein phylogenetisches Konzept für <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> . . . . .	508
Wie viele Arten an <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> existieren? . . . . .	509
13.9 Taxonomische Methoden der Systematik . . . . .	510
Analysen der Gensequenzen . . . . .	510



Die Multilocus-Sequenztypisierung .....	510
Der genomische Fingerabdruck .....	511
Die Multigen- und Gesamtgenomanalyse .....	512
Phänotypische Untersuchungen .....	512
13.10 Klassifizierung und Nomenklatur .....	514
Die Taxonomie und die Beschreibung neuer Arten .....	514
Bergey's Manual und The Prokaryotes .....	517
Kultursammlungen .....	517
<b>Kapitel 14 Die metabolische Diversität von Mikroorganismen</b>	<b>523</b>
<b>I Die Phototrophie</b>	<b>524</b>
14.1 Die Photosynthese und Chlorophylle .....	524
Chlorophylle und Bakteriochlorophylle .....	525
Reaktionszentren und Antennenpigmente .....	526
Photosynthetische Membranen, Chloroplasten und Chlorosomen .....	527
14.2 Carotinoide und Phycobiline .....	529
Carotinoide .....	529
Phycobiliproteine und Phycobilisomen .....	530
14.3 Die anoxygene Photosynthese .....	531
Der Elektronenfluss in Purpurbakterien .....	531
Die Erzeugung der Reduktionskraft .....	532
Photosynthetischer Elektronenfluss bei anderen anoxygenen Phototrophen ..	533
14.4 Die oxygene Photosynthese .....	534
Der Elektronenfluss und die ATP-Synthese bei der oxygenen Photosynthese	535
Die anoxygene Photosynthese der oxygenen Phototrophen .....	536
<b>II Die Autotrophie und die N<sub>2</sub>-Fixierung</b>	<b>536</b>
14.5 Autotrophe Stoffwechselwege .....	537
Der Calvinzyklus .....	537
Der reverse Citratzyklus .....	538
Weitere Wege der CO <sub>2</sub> -Fixierung .....	540
14.6 Die Stickstofffixierung .....	540
Die Nitrogenase .....	541
Der Elektronenfluss bei der Stickstofffixierung .....	542
Die Messung der Nitrogenase-Aktivität: die Reduktion von Acetylen .....	543
<b>III Respiratorische Vorgänge, die über den Elektronendonator definiert sind</b>	<b>543</b>
14.7 Prinzipien der Atmung .....	544
Die Energetik der Atmung .....	544
Aerobe und anaerobe Atmungen .....	545
Assimilatorischer und dissimilatorischer Stoffwechsel .....	545
14.8 Die Wasserstoffoxidation .....	546
Die Hydrogenase und die Energetik der H <sub>2</sub> -Oxidation .....	546
Die Autotrophie der Wasserstoffbakterien .....	547
14.9 Oxidation von Schwefelverbindungen .....	548
Die Energetik der Schwefeloxidation .....	548
Die Biochemie der Schwefeloxidation: Das Sox-System .....	549
Weitere Aspekte der chemolithotrophen Schwefeloxidation .....	550
14.10 Die Eisenoxidation .....	550
Eisenoxidierende Bakterien .....	550
Die Energie aus der Oxidation von Fe <sup>2+</sup> .....	551
Oxidation von Eisen(II)-Ionen unter anoxischen Bedingungen .....	552
14.11 Die Nitrifizierung .....	553
Bioenergetik und Enzymologie der Nitrifizierung .....	553
Kohlenstoffmetabolismus und Ökologie der nitrifizierenden Bakterien ...	554

14.12 Die anaerobe Ammoniumoxidation (Anammox) . . . . .	554
Das Anammoxosom und seine Reaktionen . . . . .	555
Die Ökologie der Anammox-Bakterien . . . . .	555
<b>IV Respiratorische Vorgänge, die über den Elektronenakzeptor definiert sind</b>	<b>556</b>
14.13 Die Nitratreduktion und die Denitrifikation . . . . .	556
Denitrifizierende Mikroorganismen und ihre ökologischen Aktivitäten . . .	557
Die Biochemie der dissimilatorischen Nitratreduktion . . . . .	557
14.14 Sulfat und die Schwefelreduktion . . . . .	558
Die Biochemie und Energetik der Sulfatreduktion . . . . .	559
Spezielle Stoffwechselwege sulfatreduzierender Bakterien . . . . .	560
Die Schwefelreduktion . . . . .	561
14.15 Andere Elektronenakzeptoren . . . . .	561
Die Reduktion von Metallen und Metalloiden . . . . .	562
Organische Elektronenakzeptoren . . . . .	562
Die Reduktion von Protonen . . . . .	563
<b>V Der C<sub>1</sub>-Metabolismus</b>	<b>563</b>
14.16 Acetogenese . . . . .	563
Die Organismen und der Reaktionsweg . . . . .	564
Die reduktive Acetyl-CoA-Weg und die Energiekonservierung bei der Acetogenese . . . . .	565
Die Flavin-basierte Elektronenbifurkation . . . . .	566
14.17 Die Methanogenese . . . . .	566
C <sub>1</sub> -Überträger in der Methanogenese . . . . .	567
Redox-Coenzyme . . . . .	568
Die Methanogenese aus CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> . . . . .	568
Methanogenese aus Methylverbindungen und Acetat . . . . .	569
Autotrophie . . . . .	570
Die Energiekonservierung in Methanogenen . . . . .	570
14.18 Die Methanotrophie . . . . .	571
Die aerobe Methanoxidation . . . . .	571
Die C <sub>1</sub> -Assimilation in Zellmaterial durch aerobe Methanotrophe . . . . .	571
Die anaerobe Oxidation von Methan (AOM) . . . . .	572
Die intra-aerobe Methanotrophie . . . . .	573
<b>VI Fermentationen</b>	<b>574</b>
14.19 Energetische und Redoxbetrachtungen . . . . .	574
Energiereiche Verbindungen und die Substratkettenphosphorylierung . . .	574
Die Redoxbilanz, H <sub>2</sub> und die Acetatbildung . . . . .	575
14.20 Die Milchsäuregärung und gemischte Säuregärungen. . . . .	576
Die Milchsäuregärung . . . . .	577
Der Entner-Doudoroff-Weg . . . . .	577
Gemischte Säuregärungen . . . . .	578
14.21 Gärungen von Clostridien und die Propionsäuregärung . . . . .	579
Die Zuckervergärung durch Clostridien . . . . .	579
Die Aminosäurevergärung durch <i>Clostridium</i> -Spezies und die Stickland-Reaktion . . . . .	580
Die Gärung von <i>Clostridium kluveri</i> . . . . .	581
Die Propionsäuregärung . . . . .	581
14.22 Fermentationen ohne Substratkettenphosphorylierung . . . . .	582
<i>Propiogenium modestum</i> . . . . .	582
<i>Oxalobacter formigenes</i> . . . . .	582
Was lernen wir aus der Decarboxylierung von Succinat und Oxalat? . . . . .	583

14.23 Die Syntrophie .....	584
Die Energetik des H <sub>2</sub> -Transfers .....	585
Die Energetik in Syntrophen .....	585
Die Ökologie von Syntrophen .....	586
<b>VII Der Kohlenwasserstoffmetabolismus</b> .....	<b>586</b>
14.24 Der aerobe Kohlenwasserstoffmetabolismus .....	587
Oxygenasen und die Oxidation aliphatischer Kohlenwasserstoffe .....	587
Die Oxidation aromatischer Kohlenwasserstoffe .....	588
14.25 Der anaerobe Kohlenwasserstoffmetabolismus .....	588
Aliphatische Kohlenwasserstoffe .....	588
Aromatische Kohlenwasserstoffe .....	589
<b>Kapitel 15 Die funktionale Diversität von Mikroorganismen</b> .....	<b>597</b>
<b>I Das Konzept der funktionalen Diversität</b> .....	<b>598</b>
15.1 Wie man Sinn in die mikrobielle Diversität bringt .....	598
<b>II Die Diversität phototropher <i>Bacteria</i></b> .....	<b>599</b>
15.2 Überblick zu phototrophen Bakterien .....	599
15.3 Die <i>Cyanobacteria</i> .....	600
Phylogenie und Klassifizierung der Cyanobakterien .....	600
Physiologie und photosynthetische Membranen .....	601
Motilität und zelluläre Strukturen .....	602
Heterocysten und die Stickstofffixierung .....	603
Die Ökologie der <i>Cyanobakterien</i> .....	604
15.4 Purpurschwefelbakterien .....	605
Die Purpurschwefelbakterien .....	605
15.5 Purpur-Nicht-Schwefel-Bakterien und aerobe, anoxygene Phototrophe .....	607
Purpur-Nicht-Schwefel-Bakterien .....	607
Aerobe, anoxygene Phototrophe .....	608
15.6 Grüne Schwefelbakterien .....	608
Pigmente und Ökologie .....	609
Konsortien der Grünen Schwefelbakterien .....	609
15.7 Grüne Nicht-Schwefel-Bakterien .....	610
Andere <i>Chloroflexi</i> .....	611
15.8 Weitere phototrophe Bakterien .....	612
<i>Heliobacteria</i> .....	612
Phototrophe <i>Acidobacteria</i> .....	612
Phototrophe <i>Gemmatimonadetes</i> .....	613
<b>III Die mikrobielle Diversität im Schwefelkreislauf</b> .....	<b>613</b>
15.9 Dissimilatorische Sulfatreduzierer .....	613
Die Physiologie der sulfatreduzierenden Bakterien .....	614
Die Ökologie der sulfatreduzierenden Bakterien .....	615
15.10 Dissimilatorische Schwefelreduzierer .....	615
Die Physiologie und Ökologie der schwefelreduzierenden Bakterien .....	616
15.11 Dissimilative Schwefeloxidierer .....	616
Die physiologische Diversität der schwefeloxidierenden <i>Bacteria</i> .....	617
<i>Thiobacillus</i> und <i>Achromatium</i> .....	617
Die ökologische Diversität und Strategie von sulfidoxidierenden <i>Bacteria</i> ..	618

<b>IV Die mikrobielle Diversität im Stickstoffkreislauf</b>	<b>621</b>
15.12 Die Diversität der Stickstofffixierer	621
Symbiontische Diazotrophe	622
Freilebende Diazotrophe	622
<i>Azotobacter</i> und die alternativen Nitrogenasen	623
15.13 Die Diversität der Nitrifizierer und Denitrifizierer	623
Die Physiologie der nitrifizierenden <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i>	623
Die nitrifizierenden <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> : Ammoniumoxidierer	624
Nitrifizierende Bakterien: Nitritoxidierer	624
Denitrifizierende <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i>	625
<b>V Weitere besondere Gruppen von Mikroorganismen</b>	<b>625</b>
15.14 Die dissimilatorischen Eisenreduzierer	625
Physiologie	626
Ökologie	627
15.15 Die dissimilatorischen Eisenoxidierer	627
Die acidophilen, aeroben eisenoxidierenden <i>Bacteria</i>	627
Die neutrophilen, aeroben eisenoxidierenden <i>Bacteria</i>	627
Anaerobe, eisenoxidierende <i>Bacteria</i>	628
15.16 Methanotrophe und Methylothrophe	629
Aerobe, fakultative Methylothrophe	629
Die aeroben Methanotrophen	629
Physiologie	630
Ökologie	631
15.17 Mikrobielle Räuber	632
<i>Bdellovibrio</i>	632
<i>Myxobacteria</i>	633
15.18 Die mikrobielle Biolumineszenz	635
Mechanismus und Ökologie der Biolumineszenz	636
<b>VI Morphologisch unterschiedliche Bacteria</b>	<b>637</b>
15.19 Spirochäten	637
<i>Spirochaeta</i> und <i>Cristispira</i>	639
<i>Treponema</i> und <i>Borrelia</i>	639
<i>Leptospira</i> und <i>Leptonema</i>	640
15.20 Knospende und prosthekate/gestielte Bakterien	641
Die Zellteilung durch Knospung	641
Knospende Bakterien: <i>Hyphomicrobium</i>	641
Prosthekate und gestielte Bakterien	642
<i>Caulobacter</i>	644
15.21 Bakterien mit Scheiden	644
<i>Leptothrix</i>	645
<i>Sphaerotilus</i>	645
15.22 Magnetische Bakterien	646
<b>Kapitel 16 Die Diversität der Bacteria</b>	<b>653</b>
<b>I Proteobacteria</b>	<b>656</b>
16.1 <i>Alphaproteobacteria</i>	657
<i>Rhizobiales</i>	658
<i>Rickettsiales</i>	659
Weitere Gruppen der <i>Alphaproteobacteria</i>	660

16.2	<i>Betaproteobacteria</i> .....	660
	<i>Burkholderiales</i> .....	661
	<i>Rhodocyclales</i> .....	661
	<i>Neisseriales</i> .....	661
	<i>Hydrogenophilales, Methylophilales</i> und <i>Nitrosomonadales</i> .....	662
16.3	<i>Gammaproteobacteria: Enterobacteriales</i> .....	662
	Die Fermentationsmuster der Enterobakterien .....	663
	Gemischte Säuregärer: <i>Escherichia, Salmonella, Shigella</i> und <i>Proteus</i> ....	664
	Die Butandiolfermentierer: <i>Enterobacter, Klebsiella</i> und <i>Serratia</i> .....	665
16.4	<i>Gammaproteobacteria: Pseudomonadales</i> und <i>Vibrionales</i> .....	666
	<i>Pseudomonadales</i> .....	666
	<i>Vibrionales</i> .....	667
16.5	<i>Deltaproteobacteria</i> und <i>Epsilonproteobacteria</i> .....	667
	<i>Deltaproteobacteria</i> .....	667
	<i>Epsilonproteobacteria</i> .....	668
	<i>Campylobacter</i> und <i>Helicobacter</i> .....	669
	<i>Sulfurospirillum</i> und <i>Wolinella</i> .....	669
	<i>Epsilonproteobacteria</i> in der Umwelt .....	669
<b>II Firmicutes, Tenericutes und Actinobacteria</b> .....		670
16.6	<i>Firmicutes: Lactobacillales</i> .....	670
	<i>Lactobacillus</i> .....	671
	<i>Streptococcus</i> und andere Kokken .....	671
16.7	<i>Firmicutes: nichtsporulierende Bacillales</i> und <i>Clostridiales</i> .....	672
	<i>Listeria</i> .....	672
	<i>Staphylococcus</i> .....	673
	<i>Sarcina</i> .....	673
16.8	<i>Firmicutes: sporulierende Bacillales</i> und <i>Clostridiales</i> .....	674
	<i>Bacillus</i> und <i>Paenibacillus</i> .....	674
	<i>Clostridium</i> .....	675
	<i>Sporosarcina</i> .....	676
16.9	<i>Tenericutes: Die Mycoplasmen</i> .....	676
	Die Eigenschaften von Mycoplasmen .....	677
	Das Wachstum der Mycoplasmen .....	677
	<i>Spiroplasma</i> .....	678
16.10	<i>Actinobacteria: Coryneforme</i> und <i>Propionsäurebakterien</i> .....	679
	Die coryneformen Bakterien .....	679
	Die Propionsäurebakterien .....	680
16.11	<i>Actinobacteria: Mycobacterium</i> .....	680
16.12	Filamentöse <i>Actinobacteria: Streptomyces</i> und Verwandte .....	682
	<i>Streptomyces</i> .....	682
	Ökologie und Isolierung von <i>Streptomyces</i> .....	683
	Antibiotika von <i>Streptomyces</i> .....	684
<b>III Bacteroidetes</b> .....		685
16.13	<i>Bacteroidales</i> .....	686
16.14	<i>Cytophagales, Flavobacteriales</i> und <i>Sphingobacteriales</i> .....	686
	<i>Cytophagales</i> .....	686
	<i>Flavobacteriales</i> und <i>Sphingobacteriales</i> .....	688
<b>IV Chlamydiae, Planctomycetes und Verrucomicrobia</b> .....		688
16.15	<i>Chlamydiae</i> .....	689
	Lebenszyklus von <i>Chlamydia</i> .....	689
	Bedeutende Gattungen der <i>Chlamydiae</i> .....	690
	Molekulare und metabolische Eigenschaften .....	690

16.16	<i>Planctomycetes</i> .....	690
	Kompartimentierung in <i>Planctomycetes</i> .....	690
	<i>Planctomyces</i> .....	691
16.17	<i>Verrucomicrobia</i> .....	692
<b>V Hyperthermophile Bacteria</b>		692
16.18	<i>Thermotogae</i> und <i>Thermodesulfobacteria</i> .....	692
16.19	<i>Aquificae</i> .....	693
	<i>Aquifex</i> und Autotrophie .....	694
	<i>Thermocrinis</i> .....	694
<b>VI Andere Bacteria</b>		695
16.20	<i>Deinococcus-Thermus</i> .....	695
	Strahlungsresistenz bei <i>Deinococcus radiodurans</i> .....	696
	DNA-Reparatur bei <i>Deinococcus radiodurans</i> .....	696
16.21	Andere bemerkenswerte Phyla der <i>Bacteria</i> .....	696
	<i>Acidobacteria</i> .....	696
	<i>Nitrospirae</i> , <i>Deferribacteres</i> , <i>Chrysiogenetes</i> .....	697
	<i>Synergistetes</i> , <i>Fusobacteria</i> , <i>Fibrobacteres</i> .....	697
<b>Kapitel 17 Die Diversität der Archaea</b>		703
<b>I Euryarchaeota</b>		705
17.1	Extrem halophile <i>Archaea</i> .....	705
	Hypersaline Lebensräume: Chemie und Produktivität .....	705
	Taxonomie und Physiologie von extrem halophilen <i>Archaea</i> .....	707
	Das Wassergleichgewicht bei extrem Halophilen .....	707
	Bestandteile des Cytoplasmas von extrem Halophilen .....	708
	Bakteriorhodopsin und die lichtvermittelte ATP-Synthese bei <i>Halobacterium</i> .....	708
	Weitere Rhodopsine .....	709
17.2	Methanogene <i>Archaea</i> .....	710
	Diversität und Physiologie der Methanogenen .....	710
	<i>Methanocaldococcus jannaschii</i> als Modell-Methanogener .....	713
	<i>Methanopyrus</i> , ein hyperthermophiler Methanogener .....	714
17.3	<i>Thermoplasmatales</i> .....	714
	<i>Archaea</i> ohne Zellwände .....	714
	<i>Ferroplasma</i> .....	716
	<i>Picrophilus</i> .....	716
17.4	<i>Thermococcales</i> und <i>Archaeoglobales</i> .....	716
	<i>Thermococcus</i> und <i>Pyrococcus</i> .....	716
	<i>Archaeoglobus</i> und <i>Ferroglobus</i> .....	717
<b>II Thaumarchaeota, Nanoarchaeota und Korarchaeota</b>		718
17.5	<i>Thaumarchaeota</i> und die Nitrifizierung durch <i>Archaea</i> .....	718
	Physiologische Charakteristika der <i>Thaumarchaeota</i> .....	718
	Das Vorkommen von <i>Thaumarchaeota</i> in der Umwelt .....	719
17.6	<i>Nanoarchaeota</i> und der „gastliche Feuerball“ .....	720
	<i>Nanoarchaeum</i> und sein Wirt .....	720
	Das Genom von <i>Nanoarchaeum equitans</i> .....	721
17.7	<i>Korarchaeota</i> und das „geheimnisvolle Filament“ .....	721
<b>III Crenarchaeota</b>		722
17.8	Habitats und Energiestoffwechsel .....	722
17.9	<i>Crenarchaeota</i> aus terrestrischen vulkanischen Habitats .....	725
	<i>Sulfolobales</i> .....	726
	<i>Thermoproteales</i> .....	726

17.10	<i>Crenarchaeota</i> aus submarinen vulkanischen Habitaten . . . . .	727
	<i>Pyrodictium</i> und <i>Pyrolobus</i> . . . . .	727
	<i>Desulfurococcus</i> und <i>Ignicoccus</i> . . . . .	728
	<i>Staphylothermus</i> . . . . .	729
<b>IV</b>	<b>Die Evolution und das Leben bei hohen Temperaturen</b>	<b>730</b>
17.11	Die obere Temperaturgrenze mikrobiellen Lebens . . . . .	730
	Wo liegt die obere Temperatur des Lebens? . . . . .	730
	Biochemische Probleme bei superkritischen Temperaturen . . . . .	731
17.12	Molekulare Anpassungen an das Leben bei hoher Temperatur . . . . .	731
	Proteinfaltung und Thermostabilität . . . . .	731
	Chaperone: Sie unterstützen Proteine, ihren nativen Zustand beizubehalten	732
	DNA-Stabilität bei hohen Temperaturen: gelöste Stoffe, die reverse	
	DNA-Gyrase und DNA-Bindeproteine . . . . .	732
	Lipidstabilität und die Stabilität der ribosomalen RNA . . . . .	733
17.13	Hyperthermophile <i>Archaea</i> , H <sub>2</sub> und die mikrobielle Evolution . . . . .	734
	Hyperthermophile Habitats und H <sub>2</sub> als Energiequelle . . . . .	734
<b>Kapitel 18</b>	<b>Die Diversität der mikrobiellen Eukarya</b>	<b>739</b>
<b>I</b>	<b>Organellen und Phylogenie der mikrobiellen Eukarya</b>	<b>740</b>
18.1	Endosymbiosen und die eukaryotische Zelle . . . . .	740
	Untermauerung der Endosymbiontenhypothese . . . . .	740
	Die sekundäre Endosymbiose . . . . .	741
18.2	Die phylogenetischen Linien der <i>Eukarya</i> . . . . .	742
	Die Evolution der Eukaryoten: das große Gesamtbild . . . . .	742
	Phylogenetische Erkenntnisse zur Endosymbiose . . . . .	743
<b>II</b>	<b>Protisten</b>	<b>744</b>
18.3	<i>Excavata</i> . . . . .	744
	Diplomonaden . . . . .	744
	<i>Parabasalia</i> . . . . .	745
	Kinetoplastiden . . . . .	745
	<i>Euglenida</i> . . . . .	746
18.4	<i>Alveolata</i> . . . . .	746
	Ciliaten . . . . .	746
	Dinoflagellaten . . . . .	747
	<i>Apicomplexa</i> . . . . .	748
18.5	<i>Stramenopila</i> . . . . .	749
	Diatomeen . . . . .	749
	Oomyzeten . . . . .	749
	Die Goldalgen und Braunalgen . . . . .	750
18.6	<i>Rhizaria</i> . . . . .	751
	<i>Chlorarachniophyta</i> . . . . .	751
	<i>Foraminifera</i> . . . . .	752
	<i>Radiolaria</i> . . . . .	752
18.7	<i>Amoebozoa</i> . . . . .	753
	Gymnamöben und Entamöben . . . . .	753
	Schleimpilze . . . . .	753
<b>III</b>	<b>Fungi</b>	<b>755</b>
18.8	Die Physiologie der Pilze, ihre Struktur und Symbiosen . . . . .	755
	Ernährung, Physiologie und Ökologie . . . . .	756
	Morphologie, Sporen und Zellwände der Pilze . . . . .	756
	Symbiosen und Pathogenese . . . . .	757

18.9	Die Reproduktion und Phylogenie der Pilze .....	758
	Geschlechtliche Sporen der Pilze .....	758
	Die Phylogenie der Pilze .....	758
18.10	<i>Microsporidia</i> und <i>Chytridiomycota</i> .....	759
	<i>Microsporidia</i> .....	759
	<i>Chytridiomycota</i> .....	760
18.11	<i>Zygomycota</i> und <i>Glomeromycota</i> .....	760
	<i>Zygomycota</i> .....	761
	<i>Glomeromycota</i> .....	761
18.12	<i>Ascomycota</i> .....	762
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	762
	Paarungstypen und geschlechtliche Vermehrung bei <i>Saccharomyces</i> ....	762
18.13	<i>Basidiomycota</i> .....	764
	Die Entwicklung eines Ständerpilzes .....	764
	Pathogene Basidiomyzeten .....	764
<b>IV Archaeplastida</b> .....		765
18.14	Die Rotalgen .....	765
	Grundlegende Eigenschaften .....	765
	<i>Cyanidium</i> , <i>Galdieria</i> , und Verwandte .....	766
18.15	Grünalgen .....	766
	Sehr kleine Grünalgen und kolonienbildende Grünalgen .....	767
	Endolithische Phototrophe .....	768

## **Teil V      Mikrobielle Ökologie und Umweltmikrobiologie**      773

### **Kapitel 19    Wie man mikrobielle Systeme misst**      775

#### **I Kulturabhängige Untersuchungen mikrobieller Gemeinschaften**      776

19.1	Die Anreicherungskultur .....	776
	Animpfmateriale .....	779
	Die Ergebnisse von Anreicherungskulturen .....	780
	Die Winogradsky-Säule .....	780
	Selektion der Schnellwachsenden .....	781
19.2	Klassische Methoden zu Isolierung von Mikroben .....	782
	Agarverdünnungsröhrchen und die Most-Probable-Number-Technik (MPN)	782
	Kriterien für die Reinheit .....	783
19.3	Selektive Einzelzell-Isolierung: Laserpinzette, Durchflusszytometrie, Mikrofluidik und Hochdurchsatzmethoden .....	783
	Laserpinzette und Durchflusszytometrie .....	784
	Hochdurchsatzkultur und mikrofluidische Geräte .....	784

#### **II Kulturunabhängige mikroskopische Untersuchungen mikrobieller Lebensgemeinschaften**      786

19.4	Allgemeine Färbemethoden .....	786
	Fluoreszenzfärbung mit Farbstoffen, die Nucleinsäuren binden .....	786
	Färbung lebender Zellen .....	787
	Fluoreszierende Proteine für die Zellmarkierung und Reportergene ....	788
	Die Grenzen der Mikroskopie .....	789
19.5	Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH) .....	789
	Phylogenetisches Färben mit FISH .....	790
	CARD-FISH .....	790



<b>III Kulturunabhängige genetische Analysen mikrobieller Gemeinschaften</b>	<b>791</b>
19.6 PCR-Methoden zur Analyse von Mikrobengemeinschaften . . . . .	791
PCR und die Untersuchung von Mikrobengemeinschaften . . . . .	791
Denaturierende Gradienten-Gelelektrophorese: Trennung sehr ähnlicher Gene	793
T-RFLP und ARISA . . . . .	794
Diversitätsuntersuchungen mittels Klonbibliotheken oder	
Next-Generation-Sequenzierung . . . . .	795
Ergebnisse der phylogenetischen Analysen mit PCR . . . . .	796
19.7 Mikroarrays zur Untersuchung der phylogenetischen und	
funktionellen Diversität von Mikroben . . . . .	796
PhyloChips und GeoChips . . . . .	796
Vor- und Nachteile der „Umwelt-Mikroarrays“ . . . . .	797
19.8 Umweltgenomik und verwandte Methoden . . . . .	798
Metagenomik und die Rekonstruktion von Umweltgenomen . . . . .	798
Einige Beispiele für Umweltgenomik . . . . .	799
Metatranskriptomik und Metaproteomik . . . . .	800
<b>IV Die Messung mikrobieller Aktivitäten in der Umwelt</b>	<b>801</b>
19.9 Chemische Messungen, Radioisotopenmethoden und Mikroelektroden. . .	802
Radioisotope . . . . .	802
Mikroelektroden . . . . .	802
19.10 Stabile Isotope und Messung von stabilen Isotopenverhältnissen. . . . .	804
Isotopenfraktionierung . . . . .	804
Der Einsatz der Isotopenfraktionierung in der mikrobiellen Ökologie . . . . .	805
Markierung mit stabilen Isotopen . . . . .	805
19.11 Die Zuordnung von Funktionen zu spezifischen Organismen. . . . .	806
Der Stoffwechsel einzelner Zellen, dargestellt durch	
Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS) . . . . .	807
Die Raman-Mikrospektroskopie . . . . .	808
Radioisotope in Kombination mit FISH: Mikroautoradiographie-FISH . . . . .	808
19.12 Die Verknüpfung von Genen und zellulären Eigenschaften mit	
individuellen Zellen. . . . .	809
Durchflusszytometrie und Multiparameteranalysen . . . . .	810
Einzelzell-Genomik . . . . .	810
<b>Kapitel 20 Mikrobielle Ökosysteme</b>	<b>817</b>
<b>I Mikrobielle Ökologie</b>	<b>818</b>
20.1 Grundlegende Konzepte der Ökologie. . . . .	818
Ökosysteme und ihre Habitate . . . . .	818
Die Speziesvielfalt in mikrobiellen Habitaten . . . . .	818
20.2 Energieversorgung des Ökosystems: Biogeochemie und Nahrungskreisläufe	820
Energieeintrag ins Ökosystem . . . . .	820
Die biogeochemischen Kreisläufe . . . . .	820
<b>II Die Umwelt von Mikroben</b>	<b>821</b>
20.3 Lebensräume und Mikrolebensräume . . . . .	821
Mikroorganismen, Nischen und der Mikrolebensraum . . . . .	821
Nährstoffkonzentration und Wachstumsraten . . . . .	823
Mikrobieller Wettbewerb und Kooperation . . . . .	823
20.4 Oberflächen und Biofilme . . . . .	824
Biofilme . . . . .	824
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> und cystische Fibrose . . . . .	825
Warum Bakterien Biofilme bilden . . . . .	826
Die Kontrolle von Biofilmen . . . . .	826

20.5	Mikrobenmatten . . . . .	827
	Matten der Cyanobakterien . . . . .	827
	Chemolithotrophe Matten . . . . .	828
<b>III Terrestrische Umgebungen</b>		<b>829</b>
20.6	Böden . . . . .	829
	Die Zusammensetzung und Bildung von Boden . . . . .	830
	Die Verfügbarkeit von Wasser: bebaute und unbebaute Böden als Habitats für Mikroben . . . . .	831
	Trockenböden . . . . .	831
	Ein phylogenetischer Schnappschuss der Vielfalt von <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> im Boden . . . . .	832
20.7	Der Bereich unter der Erdoberfläche . . . . .	834
	<i>Bacteria</i> in tiefen Schichten unterhalb der Erdoberfläche . . . . .	835
	<i>Archaea</i> in tiefen Schichten unterhalb der Erdoberfläche . . . . .	836
	Wachstumsraten und die Zukunft der Mikrobiologie der „deep biosphere“ . . .	837
<b>IV Aquatische Umgebungen</b>		<b>837</b>
20.8	Süßwasser . . . . .	838
	Das Verhältnis zum Sauerstoff in Süßwasserlebensräumen . . . . .	838
	Der biologische Sauerstoffbedarf . . . . .	839
	Ein phylogenetischer Schnappschuss der Vielfalt von <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> im Süßwasser . . . . .	840
20.9	Die marine Umgebung: Phototrophe und Sauerstoff . . . . .	841
	Die Deepwater-Horizon-Katastrophe . . . . .	843
	Sauerstoff-Minimum-Zonen . . . . .	844
20.10	Wesentliche marine Phototrophe . . . . .	844
	Primärproduktivität: <i>Prochlorococcus</i> . . . . .	844
	Weitere pelagische, oxygene Phototrophe . . . . .	846
	Aerobe, anoxygene Phototrophe . . . . .	847
20.11	Pelagische <i>Bacteria</i> , <i>Archaea</i> und Viren . . . . .	848
	Verteilung und Aktivität der <i>Archaea</i> und <i>Bacteria</i> in pelagischen Gewässern <i>Pelagibacter</i> – das häufigste Bakterium . . . . .	848
	Marine Viren . . . . .	849
	Ein phylogenetischer Schnappschuss der marinen Diversität der Bakterien und Archaeen . . . . .	850
20.12	Die Tiefsee . . . . .	851
	Die Bedingungen in der Tiefsee . . . . .	851
	Piezotolerante und piezophile <i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> . . . . .	852
	Molekulare Auswirkungen hohen Drucks . . . . .	852
20.13	Tiefseesedimente . . . . .	853
	Zellzahlen in Tiefseesedimenten . . . . .	854
	Ein phylogenetischer Schnappschuss der prokaryotischen Vielfalt mariner Sedimente . . . . .	855
	Energielimitierung und mikrobielles Leben unter dem Meeresboden . . . . .	855
20.14	Hydrothermalsysteme . . . . .	856
	Die verschiedenen Quellen . . . . .	857
	<i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> in Hydrothermalsystemen . . . . .	858
	Ein phylogenetischer Schnappschuss der prokaryotischen Vielfalt in Hydrothermalsystemen . . . . .	859
<b>Kapitel 21 Nahrungskreisläufe</b>		<b>865</b>
<b>I Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelkreisläufe</b>		<b>866</b>
21.1	Der Kohlenstoffkreislauf . . . . .	866
	Kohlenstoffspeicher . . . . .	866

Photosynthese und Abbau .....	867
Methanhydrate .....	868
Kohlenstoffgleichgewicht und gekoppelte Kreisläufe .....	868
21.2 Syntrophie und Methanogenese .....	869
Anoxischer Abbau und Syntrophie .....	869
Methanogene Symbionten und Acetogene in Termiten .....	871
21.3 Der Stickstoffkreislauf .....	872
Stickstofffixierung und Denitrifizierung .....	872
Ammonifizierung und Ammoniakflüsse .....	873
Nitrifizierung und Anammox .....	873
21.4 Der Schwefelkreislauf .....	874
Schwefelwasserstoff und Sulfatreduktion .....	875
Sulfid und die Oxidation/Reduktion elementaren Schwefels .....	875
Organische Schwefelverbindungen .....	875
<b>II Weitere Nahrungskreisläufe</b> .....	876
21.5 Der Eisen- und der Mangankreislauf .....	876
Die bakterielle Reduktion von Eisen und Manganoxiden .....	877
Die mikrobielle Oxidation von reduziertem Eisen und Mangan .....	877
21.6 Die Kreisläufe von Phosphor, Calcium und Silicium .....	881
Phosphor .....	882
Calcium .....	882
Silicium .....	883
<b>III Der Mensch und Nahrungskreisläufe</b> .....	884
21.7 Quecksilberumwandlungen .....	884
Der mikrobielle Redoxkreislauf von Quecksilber .....	884
Quecksilberresistenz .....	885
21.8 Der Einfluss des Menschen auf die Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe ..	886
CO <sub>2</sub> , andere Treibhausgase und die Erderwärmung .....	886
CO <sub>2</sub> und sein Effekt auf aquatische Mikrobensysteme .....	887
Methan und die Erderwärmung .....	888
Anthropogene Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf .....	889
<b>Kapitel 22 Mikrobiologie der vom Menschen bebauten Umwelt</b> .....	893
<b>I Erzegewinnung und saure Minenabwässer</b> .....	894
22.1 Bergbau mit Mikroorganismen .....	894
Der Laugungsprozess .....	895
Metallgewinnung .....	895
Weitere mikrobielle Laugungen: Uran und Gold .....	896
22.2 Saure Minenabwässer .....	896
<b>II Biologische Sanierung</b> .....	897
22.3 Biologische Sanierung uranverseuchter Gebiete .....	898
Biologische Sanierung von Uran .....	898
Bakterielle Umwandlungen von Uran .....	898
22.4 Biologische Sanierung organischer Verunreinigungen: Kohlenwasserstoffe ..	899
Biologische Sanierung von Erdöl und Kohlenwasserstoffen .....	899
Abbau gelagerter Kohlenwasserstoffe .....	900
22.5 Biologische Sanierung organischer Verunreinigungen: Pestizide und Plastik	901
Katabolismus von Pestiziden .....	901
Dechlorinierung .....	901
Plastik .....	902

<b>III Abwasser- und Trinkwasserbehandlung</b>	<b>903</b>
22.6 Primäre und sekundäre Abwasserbehandlung	903
Abwasser und Fäkalwasser	903
Abwasserbehandlung und biologischer Sauerstoffbedarf	904
Primäre Abwasserbehandlung	904
Sekundäre Abwasserbehandlung	905
Sekundäre und tertiäre anaerobe Abwasserbehandlungen	906
22.7 Neue Verfahren zur Abwasserbehandlung	907
Die biologische Entfernung von Phosphor	907
Die biologische Entfernung von Stickstoff: der konventionelle Ansatz	908
Die biologische Entfernung von Stickstoff: die partielle Nitrifizierung und Denitrifizierung und Anammox	909
Neu auftretende Kontaminationen	910
22.8 Trinkwasser: Reinigung und Stabilisierung	911
Physikalische und chemische Aufreinigung	911
Desinfektion	912
22.9 Wasserverteilungssysteme	913
Die Mikrobiologie kommunaler Wasserverteilungssysteme	913
Die Mikrobiologie häuslicher Wasserverteilungssysteme	914
<b>IV Mikrobiologie von Gebäuden und mikrobiell beeinflusste Korrosion</b>	<b>915</b>
22.10 Die Mikrobiologie des privaten Haushalts und von öffentlichen Räumen	915
Mikrobiologie des privaten Haushalts	915
Mikrobiologie öffentlicher Plätze	916
22.11 Mikrobiell beeinflusste Korrosion von Metallen	917
Metallkorrosion durch sulfatreduzierende Bakterien	917
Mechanismus der Metallkorrosion	917
22.12 Biologisch bedingter Abbau von Steinen und Beton	918
Biologische Schädigung von Steingebäuden	918
Kronenkorrosion von Abwasserverteilungssystemen	918
<b>Kapitel 23 Mikrobielle Symbiosen mit Mikroben, Pflanzen und Tieren</b>	<b>925</b>
<b>I Symbiosen zwischen Mikroorganismen</b>	<b>926</b>
23.1 Flechten	926
23.2 „ <i>Chlorochromatium aggregatum</i> “	927
Die Natur eines Konsortiums	928
Die Phylogenie und der Stoffwechsel eines Konsortiums	929
<b>II Pflanzen als Habitate für Mikroben</b>	<b>930</b>
23.3 Die Leguminosen-Wurzelknöllchen-Symbiose	930
Leghämoglobin und Kreuz-Inokulationsgruppen	931
Schritte der Wurzelknöllchenbildung	932
Anheftung und Infektion	932
Bacteroide	933
Knöllchenbildung: <i>nod</i> -Gene, Nod-Proteine und Nod-Faktoren	933
Die Biochemie der Wurzelknöllchen	935
Stammknöllchen bildende Rhizobien	935
N <sub>2</sub> -fixierende Symbiosen mit Nichtleguminosen: <i>Azolla</i> – <i>Anabaena</i> und <i>Alnus</i> – <i>Frankia</i>	936
23.4 Mykorrhizen	936
Die Arten der Mykorrhizen	937
Arbuskuläre Mykorrhiza	937
Der Nutzen für die Pflanze	939

23.5	<i>Agrobacterium</i> und Wurzelhalsgallen . . . . .	940
	Das Ti-Plasmid . . . . .	940
	Erkennung und T-DNA-Transfer . . . . .	940
	Gentechnologie mit dem Ti-Plasmid . . . . .	941
<b>III Insekten als Habitate für Mikroben</b>		942
23.6	Vererbare Insektensymbionten . . . . .	942
	Typen vererbbarer Symbionten . . . . .	942
	Die Bedeutung obligat intrazellulärer Symbionten für die Ernährung von Insekten . . . . .	943
	Genomreduktion und Gentransfer . . . . .	944
23.7	Termiten . . . . .	946
	Naturgeschichte und Biochemie der Termiten . . . . .	946
	Bakterielle Vielfalt und der Lignocelluloseabbau bei den höheren Termiten . .	947
	Acetogenese und Stickstofffixierung im Termitendarm . . . . .	948
<b>IV Andere Invertebraten als Habitate für Mikroben</b>		949
23.8	Der hawaiianische Tintenfisch . . . . .	949
	Das Tintenfisch- <i>Aliivibrio</i> -System als Modell einer Symbiose . . . . .	949
	Etablierung der Tintenfisch- <i>Aliivibrio</i> -Symbiose . . . . .	950
	Propagation der Symbiose . . . . .	950
23.9	Marine Invertebraten an Hydrothermalquellen und cold seeps . . . . .	951
	Röhrenwürmer, Miesmuscheln und Riesenmuscheln . . . . .	951
	Genomik und Symbiosen der Hydrothermalsysteme . . . . .	953
23.10	Insektenpathogene Nematoden . . . . .	954
	Die Spezifität der entomopathogenen Nematoden für ihre Symbionten und ihre Insektenwirte . . . . .	954
	Der Lebenszyklus der Nematoden und ihre Letalität . . . . .	954
23.11	Riffbildende Korallen . . . . .	955
	Phototrophe Symbiosen mit Tieren . . . . .	955
	Übertragung, Spezifität und Nutzen der Assoziation <i>Symbiodinium</i> – Koralle	956
	Die Korallenbleiche – das Risiko, einem phototrophen Symbionten in einer sich verändernden Welt Unterschlupf zu gewähren . . . . .	957
<b>V Darmsysteme der Säuger als Habitate für Mikroben</b>		958
23.12	Die verschiedenen Verdauungssysteme der Säuger . . . . .	958
	Pflanzliche Substrate . . . . .	959
	Vorderdarm- und Hinterdarmfermentierer . . . . .	959
23.13	Der Pansen und Wiederkäuer . . . . .	960
	Die Anatomie und Aktivität des Pansens . . . . .	960
	Mikrobielle Fermentation im Pansen . . . . .	961
	Bakterien des Pansens . . . . .	961
	Gefährliche Veränderungen der mikrobiellen Gemeinschaft im Pansen . . .	964
	Veränderung zum Schutz der mikrobiellen Gemeinschaft im Pansen . . . .	964
	Protisten und Pilze des Pansens . . . . .	965
<b>Teil VI Mikrobe-Mensch-Interaktionen und das Immunsystem</b>		971
<b>Kapitel 24 Symbiosen von Mikroben mit dem Menschen</b>		973
<b>I Struktur und Funktion des Mikrobioms gesunder Erwachsener</b>		974
24.1	Übersicht zum menschlichen Mikrobiom . . . . .	974
	Vorteile der Kenntnis des menschlichen Mikrobioms . . . . .	974
	Experimentelles Vorgehen und untersuchte Regionen des Körpers . . . . .	975

24.2	Die Mikrobenflora des Verdauungssystems . . . . .	977
	Der Magen und der Dünndarm . . . . .	978
	Der Dickdarm . . . . .	979
	Zusammenfassung zu den Darmbakterien: die beiden wesentlichen Bestandteile . . . . .	980
	Darm-Enterotypen . . . . .	980
	Produkte der Darmmikrobengemeinschaft und die „Erziehung“ des Immunsystems . . . . .	981
24.3	Die Mundhöhle und Atmungswege . . . . .	984
	Die Mikroorganismen der Mundhöhle . . . . .	984
	Mikroumgebungen des Mundes und deren Mikrobiota . . . . .	985
	Mikroumgebungen im Atemtrakt . . . . .	987
24.4	Der Urogenitaltrakt und seine Mikroben . . . . .	987
24.5	Die Haut und ihre Mikroorganismen . . . . .	989
	Die mikrobielle Diversität der Mikroumgebungen der Haut . . . . .	989
	Weitere Aspekte des Hautmikrobioms . . . . .	991
<b>II Von der Geburt bis zum Tod: Entwicklung des menschlichen Mikrobioms</b>		992
24.6	Menschliche Untersuchungsgruppen und Tiermodelle . . . . .	992
	Menschliche Mikrobiomuntersuchungsgruppen . . . . .	992
	Das Mausmodell . . . . .	993
24.7	Kolonisierung, Sukzession und Stabilität der Darmmikrobenflora . . . . .	994
	Mikrobielle Aktivitäten im ersten Lebensjahr . . . . .	994
	Die Stabilität des Mikrobioms der Erwachsenen und Verschiebungen im Alter . . . . .	996
<b>III Erkrankungen, die dem menschlichen Mikrobiom zugeschrieben werden</b>		997
24.8	Erkrankungen, die man mit dem Darmmikrobiom korreliert . . . . .	997
	Entzündliche Darmerkrankungen . . . . .	997
	Die Rolle der Darmmikrobenflora für die Fettleibigkeit: Mausmodelle . . . . .	998
	Die Darmmikrobiota und die menschliche Fettleibigkeit . . . . .	999
24.9	Krankheiten, die man mit den Mikrobiota des Mundes, der Haut und der Vagina in Verbindung bringt. . . . .	1000
	Zahnkaries und Parodontose . . . . .	1000
	Acne vulgaris – die gewöhnliche Akne . . . . .	1001
	Erkrankungen der Vagina . . . . .	1002
<b>IV Modulation des menschlichen Mikrobioms</b>		1003
24.10	Antibiotika und das menschliche Mikrobiom . . . . .	1003
	Infektionen mit <i>Clostridium difficile</i> . . . . .	1003
	Fäkaltransplantationen . . . . .	1004
24.11	Probiotika und Präbiotika . . . . .	1005
	Probiotika . . . . .	1005
	Präbiotika . . . . .	1006
<b>Kapitel 25 Mikrobielle Infektionen und Pathogenese</b>		1011
<b>I Die Interaktionen zwischen Mensch und Mikrobe</b>		1012
25.1	Die Adhärenz von Mikroorganismen . . . . .	1012
	Adhärenzmoleküle . . . . .	1012
	Adhärenzstrukturen: Kapseln, Fimbrien, Pili und Flagellen . . . . .	1013
25.2	Kolonisierung und Invasion . . . . .	1014
	Das Wachstum der Mikrobengemeinschaft: Ein Beispiel aus der Zahnkaries . . . . .	1015
	Invasion und systemische Infektion . . . . .	1016
25.3	Pathogenität, Virulenz und Attenuation . . . . .	1017
	Virulenz . . . . .	1017
	Attenuation . . . . .	1018

25.4	Die Genetik der Virulenz und des betroffenen Wirts	1018
	Die Virulenz von <i>Salmonella</i> : Pathogenitätsinseln und Plasmide	1019
	Der betroffene Wirt	1020
<b>II Enzyme und Toxine für die Pathogenese</b>		<b>1020</b>
25.5	Enzyme als Virulenzfaktoren	1021
	Gewebszerstörende Enzyme	1021
	Enzymaktivitäten an Schleimhäuten des Wirts	1022
25.6	AB-Typ-Exotoxine	1023
	Das Diphtherie-Exotoxin: Blockade der Proteinsynthese	1024
	Neurologische Exotoxine: die Botulinum- und Tetanustoxine	1025
	Das Cholera-Enterotoxin: Störungen im Darm	1026
25.7	Cytolytische und Superantigen-Exotoxine	1027
	Cytolytische Exotoxine	1027
	Superantigen-Exotoxine	1028
25.8	Endotoxine	1029
	Der Aufbau und die Biologie des Endotoxins	1030
	Der <i>Limulus</i> -Amöbozytenlysattest für Endotoxin	1030
<b>Kapitel 26 Die angeborene Immunität: die weitgreifende Wirtsabwehr</b>		<b>1035</b>
<b>I Grundlagen der Wirtsabwehr</b>		<b>1036</b>
26.1	Grundlegende Eigenschaften des Immunsystems	1036
	Prinzipien der angeborenen Immunität	1037
	Prinzipien der adaptiven Immunität	1037
26.2	Barrieren für die Invasion durch Pathogene	1037
	Die natürliche Wirtsresistenz	1038
	Die Infektionsstelle und Gewebespezifität	1039
	Physikalische und chemische Barrieren für die Infektion	1040
<b>II Zellen und Organe des Immunsystems</b>		<b>1040</b>
26.3	Das Blut- und Lymphsystem	1040
	Blut- und Lymphkreislauf	1040
	Hämapoetische Stammzellen, Blut und Lymphe	1042
26.4	Die Erzeugung und Diversität von Leukozyten	1043
	Myeloide Zellen – Monozyten und Granulozyten	1043
	Lymphozyten	1044
<b>III Die Mechanismen der Phagozytenantwort</b>		<b>1044</b>
26.5	Die Herausforderung durch ein Pathogen und die Rekrutierung von Phagozyten	1045
	Die Invasion durch Mikroorganismen	1045
	Gewebeschädigung und Freisetzung von Chemokinen	1045
26.6	Die Erkennung des Pathogens und die Signaltransduktion in einem Phagozyten	1046
	Pathogen-assoziierte molekulare Muster	1046
	Rezeptoren zur Erkennung von Mustern	1047
	Die Signaltransduktion in Phagozyten	1050
26.7	Die Phagozytose und die Hemmung von Phagozyten	1051
	Die Phagozytose und das Phagolysosom	1051
	Hemmung von Phagozyten	1052
<b>IV Weitere angeborene Wirtsabwehren</b>		<b>1052</b>
26.8	Entzündungen und Fieber	1053
	Entzündungszellen und lokale Entzündung	1053

Fieber .....	1054
Systemische Entzündung und septischer Schock .....	1054
26.9 Das Komplementsystem .....	1055
Die klassische Komplementaktivierung .....	1055
Der Mannose-bindende Lektinweg und der alternative Weg .....	1057
26.10 Die angeborene Abwehr von Viren .....	1058
Natürliche Killerzellen .....	1058
Interferone .....	1059
<b>Kapitel 27 Die adaptive Immunität: hochspezifische Verteidigung des Wirts</b>	<b>1065</b>
<b>I Die Prinzipien der adaptiven Immunität</b>	<b>1066</b>
27.1 Spezifität, Gedächtnis, Selektionsprozesse und Toleranz .....	1066
Die Immunspezifität und das Gedächtnis .....	1066
Die Selektion der T-Zellen und die Toleranz .....	1067
Die Selektion der B-Zellen und Toleranz .....	1069
27.2 Immunogene und die Klassen der Immunität .....	1070
Immunogene und die Bindung von Antikörpern .....	1070
Die Klassen der adaptiven Immunität: Aktiv und Passiv .....	1071
<b>II Antikörper</b>	<b>1072</b>
27.3 Die Produktion von Antikörpern und deren strukturelle Diversität .....	1073
B-Zellen, Antikörper und deren Aktivität sowie das Gedächtnis .....	1073
Die Struktur und Funktion von Immunglobulin G .....	1074
Weitere Klassen an Immunglobulinen und deren Funktionen .....	1076
Die Exposition mit Antigen, das Immungedächtnis und die primären und sekundären Reaktionen .....	1077
27.4 Die Bindung von Antigenen und die Genetik der Diversität von Antikörpern	1078
Variable Domänen und Antigen-Antikörper-Interaktion .....	1079
Die genetische Organisation des Immunglobulinmoleküls .....	1080
Die Neuordnung, die Verknüpfung von VDJ und die Hypermutation ..	1081
<b>III Der Haupthistokompatibilitätskomplex (MHC)</b>	<b>1082</b>
27.5 MHC-Proteine und deren Funktionen .....	1082
MHC-Proteine der Klasse I und II .....	1082
Die Prozessierung des Antigens und die Präsentation für T-Zellen .....	1085
27.6 Der Polymorphismus von MHC, die Polygenie und die Peptidbindung ...	1086
Polymorphismus, Polygenie und die Immunbarriere für Gewebstransplantationen .....	1086
Die Bindung der Antigenpeptide .....	1087
<b>IV T-Zellen und ihre Rezeptoren</b>	<b>1087</b>
27.7 Die T-Zell-Rezeptoren: Proteine, Gene und Diversität. ....	1087
Die Struktur und Diversität von TCRs .....	1088
Strukturelle Ähnlichkeiten der antigenbindenden Proteine .....	1090
27.8 Die Diversität der T-Zellen .....	1091
T-cytotoxische Zellen .....	1091
Die verschiedenen Klassen von T-Helferzellen .....	1091
<b>V Immunkrankheiten und Immunschwächen</b>	<b>1094</b>
27.9 Allergie, Hypersensitivität und Autoimmunität .....	1095
Hypersensitivität vom Soforttyp .....	1095
Die Hypersensitivität vom verzögerten Typ .....	1096
Autoimmunerkrankungen .....	1097



27.10	Superantigene und Immundefizienz .....	1099
	Superantigene .....	1099
	Immundefizienz .....	1100
<b>Kapitel 28 Klinische Mikrobiologie und Immunologie</b>		<b>1107</b>
<b>I Das Umfeld der klinischen Mikrobiologie</b>		<b>1108</b>
28.1	Sicherheit im Mikrobiologielabor .....	1108
	Die Sicherheit im Labor .....	1108
	Biologische Sicherheit und biologische Sicherheitsstufen .....	1109
28.2	Infektionen im Gesundheitswesen-Bereich .....	1110
	Mechanismen des Transfers von Infektionen bei der Gesundheitsversorgung .....	1110
	Häufige Verursacher von nosokomialen Infektionen .....	1111
<b>II Isolierung und Charakterisierung infektiöser Mikroorganismen</b>		<b>1113</b>
28.3	Der Arbeitsablauf im klinischen Labor .....	1113
	Die Probennahme, der Nachweis von Pathogenen und deren Kultur .....	1113
	Mikroorganismen im Blut und cerebrospinaler Flüssigkeit .....	1115
	Harnwegstrakt- und Fäkalkulturen .....	1116
	Wunden und Abszesse .....	1118
	Proben von Geschlechtsorganen und Kulturen für die Analyse von Gonorrhoe .....	1118
	Die Kultivierung anaerober Mikroorganismen .....	1118
28.4	Die Wahl der richtigen Behandlungsmethode .....	1119
	Die minimale Hemmkonzentration .....	1119
	Die Messung der Empfindlichkeit gegen Antibiotika .....	1120
<b>III Immunologische und molekulare Werkzeuge zur Diagnose von Krankheiten</b>		<b>1121</b>
28.5	Immunnachweise und Krankheiten .....	1121
	Serologie und Antikörpertiter .....	1121
	Hauttests .....	1122
	Monoklonale Antikörper .....	1122
28.6	Die Präzipitation, Agglutination und Immunfluoreszenz .....	1124
	Präzipitation .....	1124
	Agglutination .....	1124
	Immunfluoreszenz .....	1125
28.7	Enzym-Immun-Assays, Schnelltests und Immunoblots .....	1127
	EIA .....	1127
	Schnelltests .....	1128
	Immunoblots .....	1129
28.8	Nucleinsäurebasierte klinische Verfahren .....	1130
	Die Nucleinsäurehybridisierung und Amplifizierung .....	1130
	Die quantitative Echtzeit-PCR und die reverse Transkriptions-PCR .....	1132
	Die qualitative PCR .....	1132
<b>IV Verhinderung und Behandlung von Infektionskrankheiten</b>		<b>1133</b>
28.9	Die Impfung .....	1133
	Die Natur der Vakzine .....	1134
	Synthetische und genetisch veränderte Vakzinen .....	1136
	DNA-Vakzinen .....	1137
28.10	Antibakterielle Substanzen .....	1138
	Die Zellwand als Zielort antimikrobieller Wirkstoffe .....	1138
	Die Proteinbiosynthese als Zielort antimikrobieller Wirkstoffe .....	1142
	Die Nucleinsäuresynthese als Zielort antimikrobieller Wirkstoffe .....	1143
	Weitere antimikrobielle Wirkstoffe .....	1143

28.11 Antimikrobielle Wirkstoffe gegen nichtbakterielle Pathogene . . . . .	1144
Antivirale Wirkstoffe . . . . .	1144
Wirkstoffe, die auf eukaryotische Pathogene wirken . . . . .	1145
28.12 Die Resistenz gegen antimikrobielle Wirkstoffe und neue Behandlungsstrategien . . . . .	1147
Die Resistenz gegen antimikrobielle Wirkstoffe . . . . .	1147
Neue Wirkstoffe und neue Behandlungsstrategien . . . . .	1149

## **Teil VII    Infektionskrankheiten und ihre Übertragung** 1157

### **Kapitel 29    Epidemiologie** 1159

#### **I Prinzipien der Epidemiologie** 1160

29.1 Das Vokabular der Epidemiologie. . . . .	1160
Inzidenz und Prävalenz einer Krankheit . . . . .	1160
Das Ausmaß einer Krankheit . . . . .	1161
Stadien der Krankheit . . . . .	1161
Mortalität, Morbidität und DALY . . . . .	1162
29.2 Die Gemeinschaft der Wirte . . . . .	1164
Die Coevolution von Wirt und Pathogen . . . . .	1164
Die Herdenimmunität . . . . .	1164
29.3 Die Übertragung von Infektionskrankheiten und Reservoirs . . . . .	1165
Übertragungsarten von Krankheiten . . . . .	1166
Krankheitsüberträger, Krankheitsreservoirs und Kontrolle . . . . .	1167
29.4 Charakteristika von Epidemien . . . . .	1170
Epidemien . . . . .	1170
Die basale Reproduktionszahl ( $R_0$ ) . . . . .	1171

#### **II Epidemiologie und die öffentliche Gesundheit** 1172

29.5 Die öffentliche Gesundheit und Infektionskrankheiten . . . . .	1172
Maßnahmen gegen weitverbreitete Vehikel und wesentliche Reservoirs . . . . .	1172
Immunisierung . . . . .	1173
Isolierung, Quarantäne und Überwachung . . . . .	1174
Die Ausrottung von Pathogenen . . . . .	1174
29.6 Globale Gesundheitsvergleiche . . . . .	1176
Infektionskrankheiten in Amerika und Afrika . . . . .	1176
Reisen in endemische Regionen . . . . .	1177

#### **III Neuauftretende Infektionskrankheiten, Pandemien und andere Bedrohungen** 1178

29.7 Neu auftretende und wieder auftretende Infektionserkrankungen. . . . .	1178
Neu auftretende und wieder auftretende Krankheiten . . . . .	1178
Faktoren für das Auftreten neuer Krankheiten . . . . .	1180
Die Behandlung neu auftretender Krankheiten . . . . .	1181
29.8 Beispiele für Pandemien: HIV/AIDS, Cholera und Influenza . . . . .	1181
HIV/AIDS . . . . .	1181
Cholera . . . . .	1182
Die H1N1-Pandemie von 2009 und weitere Influenzapanemien . . . . .	1183
29.9 Gefahren für die öffentliche Gesundheit durch mikrobielle Waffen. . . . .	1184
Charakteristika mikrobieller Waffen . . . . .	1185
Pocken und Anthrax . . . . .	1186

<b>Kapitel 30</b>	<b>Bakterien- und Virenkrankheiten, die von Mensch zu Mensch übertragen werden</b>	<b>1193</b>
<b>I</b>	<b>Bakterielle Krankheiten, die über die Luft übertragen werden</b>	<b>1194</b>
30.1	Durch die Luft übertragene Pathogene	1194
30.2	Streptokokkenerkrankungen	1196
	<i>Streptococcus pyogenes</i>	1196
	Scharlach, rheumatisches Fieber und andere Erkrankungen durch Gruppe-A-Streptokokken	1197
	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	1198
30.3	Diphtherie und Keuchhusten	1199
	<i>Diphtherie</i>	1199
	Keuchhusten	1200
30.4	Tuberkulose und Lepra	1201
	Tuberkulose	1201
	Lepra	1202
30.5	Meningitis und Meningokokkämie	1203
	Das Pathogen und die Krankheitssymptome	1203
	Diagnose, Behandlung und Vakzine	1204
<b>II</b>	<b>Virale Krankheiten, die über die Luft übertragen werden</b>	<b>1204</b>
30.6	MMR und Varicella-Zoster-Infektionen	1204
	Masern und Rubella	1204
	Mumps	1206
	Windpocken und Gürtelrose	1206
30.7	Grippale Erkältungskrankheiten	1207
	Symptome und Übertragung grippaler Infekte	1207
	Behandlung	1208
30.8	Influenza	1208
	Die antigene Drift und die antigene Shift	1209
	Symptome und Behandlung von Influenza	1210
	Influenzapandemien	1210
<b>III</b>	<b>Bakterielle und virale Krankheiten, die über direkten Kontakt übertragen werden</b>	<b>1211</b>
30.9	<i>Staphylococcus aureus</i> -Infektionen	1211
	Epidemiologie und Pathogenese	1212
	Diagnose und Behandlung, sowie die MRSA-Epidemie	1213
30.10	<i>Helicobacter pylori</i> und Magenkrankheiten	1214
	Die Infektion mit <i>H. pylori</i>	1214
	<i>H. pylori</i> und klinische Krankheit	1214
30.11	Hepatitis	1215
	Epidemiologie	1216
	Weitere Aspekte von Hepatitis-Syndromen	1217
30.12	Ebola: eine tödliche Bedrohung	1217
	Ebola: das Virus und seine Übertragung	1218
	Ebola: die Krankheit und deren Behandlung	1218
<b>IV</b>	<b>Sexuell übertragene Infektionen</b>	<b>1219</b>
30.13	Gonorrhoe und Syphilis	1220
	Die Gonorrhoe	1220
	Syphilis	1222
30.14	Chlamydien, Herpes und das menschliche Papillomavirus	1223
	<i>Chlamydia</i>	1223

Herpes .....	1224
Das menschliche Papillomavirus .....	1225
<b>30.15 HIV/AIDS.</b> .....	<b>1226</b>
HIV und eine Definition von AIDS .....	1226
Die Pathogenese von HIV/AIDS .....	1226
Symptome von HIV/AIDS .....	1227
Die Diagnose von HIV/AIDS .....	1228
Behandlung von HIV/AIDS .....	1229
Die Verhinderung von HIV/AIDS .....	1230
<b>Kapitel 31 Bakterielle und virale Krankheiten, die durch Vektoren und Erde übertragen werden</b> .....	<b>1237</b>
<b>I Virale Krankheiten, die durch Tiere übertragen werden</b> .....	<b>1238</b>
<b>31.1 Das Tollwutvirus und die Tollwut</b> .....	<b>1238</b>
Symptome und Pathologie von Tollwut .....	1238
Diagnose, Behandlung und Verhinderung der Tollwut .....	1239
<b>31.2 Das Hantavirus und Syndrome des Hantavirus</b> .....	<b>1240</b>
Symptome und Pathologie von Hantavirus-Syndromen .....	1240
Epidemiologie, Diagnose und Vermeidung von Hantavirus-Krankheiten ..	1241
<b>II Bakterielle und virale Krankheiten, die durch Arthropoden übertragen werden</b> .....	<b>1241</b>
<b>31.3 Krankheiten durch Rickettsien</b> .....	<b>1242</b>
Die Typhusgruppe: <i>Rickettsia prowazekii</i> .....	1242
Die Fleckfiebergruppe: <i>Rickettsia rickettsii</i> .....	1242
Die Ehrlichiose und die von Zecken übertragene Anaplasmosose .....	1243
Das Q-Fieber .....	1244
<b>31.4 Die Lyme-Krankheit und <i>Borrelia</i></b> .....	<b>1245</b>
Pathologie, Diagnose und Behandlung der Borreliose .....	1245
Epidemiologie und Prävention von Borreliose .....	1246
<b>31.5 Gelbfieber, Denguefieber, Chikungunya und Zika</b> .....	<b>1247</b>
Gelbfieber .....	1247
Denguefieber .....	1248
Zika und die Chikungunya-Krankheit .....	1248
<b>31.6 Das West-Nil-Fieber</b> .....	<b>1250</b>
Die Übertragung und Pathologie von WNV .....	1250
Kontrolle und Epidemiologie von WNV .....	1250
<b>31.7 Die Pest</b> .....	<b>1251</b>
Die Pathologie und Behandlung von Pest .....	1251
Die Epidemiologie und Kontrolle der Pest .....	1252
<b>III Bakterielle Krankheiten, die über den Boden übertragen werden</b> .....	<b>1253</b>
<b>31.8 Anthrax</b> .....	<b>1253</b>
Die Entdeckung und Eigenschaften von Anthrax .....	1254
Die verschiedenen menschlichen Anthraxformen .....	1254
Verhütung und Vakzinen .....	1255
<b>31.9 Tetanus und Gasbrand</b> .....	<b>1255</b>
Biologie und Epidemiologie von Tetanus .....	1255
Pathogenese von Tetanus .....	1256
Diagnose, Kontrolle, Prävention und Behandlung von Tetanus .....	1256
Der Gasbrand .....	1256

<b>Kapitel 32</b>	<b>Bakterien- und Virenkrankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden</b>	<b>1263</b>
<b>I</b>	<b>Wasser als ein Vehikel für Krankheiten</b>	<b>1264</b>
32.1	Erreger und Quellen der durch Wasser übertragenen Krankheiten . . . . .	1264
	Trinkwasser . . . . .	1265
	Gewässer in Erholungsgebieten . . . . .	1265
32.2	Öffentliche Gesundheit und Wasserqualität . . . . .	1266
	Coliforme und Wasserqualität . . . . .	1266
	Analysen für Fäkalcoliforme und die Wichtigkeit von <i>Escherichia coli</i> . . .	1266
	Die Meldung der Daten von Wasseruntersuchungen . . . . .	1267
<b>II</b>	<b>Krankheiten, die durch Wasser übertragen werden</b>	<b>1268</b>
32.3	<i>Vibrio cholerae</i> und Cholera . . . . .	1268
	Diagnose, Behandlung und Prävention von Cholera . . . . .	1268
32.4	Die Legionellose (Legionärskrankheit). . . . .	1270
	Pathogenese, Diagnose und Behandlung . . . . .	1270
	Epidemiologie . . . . .	1270
32.5	Typhus und Krankheiten durch Noroviren . . . . .	1271
	Typhus . . . . .	1271
	Krankheiten durch Noroviren . . . . .	1272
<b>III</b>	<b>Nahrungsmittel als ein Vehikel für Krankheiten</b>	<b>1272</b>
32.6	Das Verderben und die Konservierung von Nahrungsmitteln . . . . .	1272
	Das Verderben von Nahrungsmitteln . . . . .	1273
	Nahrungsmittelkonservierung und Fermentation . . . . .	1274
32.7	Krankheiten, die über Nahrungsmittel übertragen werden, und deren Epidemiologie. . . . .	1276
	Durch verunreinigte Lebensmittel übertragene Krankheiten und mikrobielle Probenahme . . . . .	1276
	Die Epidemiologie von Lebensmittelerkrankungen . . . . .	1278
<b>IV</b>	<b>Lebensmittelvergiftungen</b>	<b>1278</b>
32.8	Eine Lebensmittelvergiftung durch Staphylokokken . . . . .	1278
	Enterotoxine von Staphylokokken . . . . .	1279
	Eigenschaften der Krankheit, Behandlung und Prävention . . . . .	1279
32.9	Lebensmittelvergiftung durch Clostridien. . . . .	1280
	Eine Lebensmittelvergiftung durch <i>Clostridium perfringens</i> . . . . .	1280
	Botulismus . . . . .	1281
<b>V</b>	<b>Lebensmittelinfektionen</b>	<b>1282</b>
32.10	Die Salmonellose . . . . .	1282
	Pathogenese und Epidemiologie . . . . .	1282
	Diagnose, Behandlung und Prävention . . . . .	1283
32.11	Pathogene <i>Escherichia coli</i> . . . . .	1283
	Der Shigatoxin-Bildner <i>Escherichia coli</i> (STEC) . . . . .	1284
	Andere pathogene <i>Escherichia coli</i> . . . . .	1284
	Diagnose, Behandlung und Prävention . . . . .	1284
32.12	<i>Campylobacter</i> . . . . .	1285
	Epidemiologie und Pathologie . . . . .	1285
	Diagnose, Behandlung und Prävention . . . . .	1286
32.13	Listeriose. . . . .	1286
	Epidemiologie . . . . .	1286
	Pathologie . . . . .	1287
	Diagnose, Behandlung und Prävention . . . . .	1287

32.14 Weitere Infektionskrankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden können	1288
Bakterien	1288
Viren	1288
Protisten und andere Agenzien	1289
<b>Kapitel 33 Eukaryotische Pathogene: <i>Fungi</i>, Protozoen und Helminthen</b>	<b>1295</b>
<b>I Infektionen durch <i>Fungi</i></b>	<b>1296</b>
33.1 Pathogene <i>Fungi</i> und die verschiedenen Infektionsklassen	1296
Häufige pilzliche Pathogene	1296
Wesentliche Krankheitsklassen von Pilzen und deren Behandlung	1298
33.2 Pilzkrankungen: Mykosen	1299
Oberflächenmykosen	1299
Subkutane Mykosen	1299
Systemische Mykosen	1300
<b>II Parasitische Infektionen der Eingeweide</b>	<b>1301</b>
33.3 Amöben und Ciliaten: <i>Entamoeba</i> , <i>Naegleria</i> und <i>Balantidium</i>	1302
Die Amöbenruhr	1302
Infektionen durch <i>Naegleria</i> und <i>Balantidium</i>	1302
33.4 Weitere Parasiten der Eingeweide: <i>Giardia</i> , <i>Trichomonas</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Toxoplasma</i> und <i>Cyclospora</i>	1303
Giardiasis	1303
Trichomoniasis	1303
Cryptosporidiosis, Toxoplasmose und Cyclosporiasis	1304
<b>III Infektionen des Bluts und von Geweben</b>	<b>1306</b>
33.5 <i>Plasmodium</i> und Malaria	1306
Der Lebenszyklus der Malaria	1306
Epidemiologie, Diagnose, Behandlung und Kontrolle	1307
33.6 Leishmaniose, Trypanosomiasis und die Chagas-Krankheit	1307
Die Leishmaniose	1308
Die Trypanosomiasis und die Chagas-Krankheit	1308
33.7 Parasitische Helminthen: die Schistosomiasis und die Filariose	1309
Die Schistosomiasis (Bilharziose)	1309
Die Filariose	1310
<b>Anhang A: Energieberechnungen und mikrobielle Bioenergetik</b>	<b>1314</b>
<b>Anhang B: Genera und Taxa höherer Ordnung</b>	<b>1320</b>
<b>Bildnachweis</b>	<b>1337</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>1348</b>