

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die Mikroorganismen – eine kurze Einführung</b> .....	26		
	<i>Georg Fuchs</i>			
<b>1.1</b>	<b>Überblick</b> .....	26	1.6.5	Rasche genetische Anpassung .....
<b>1.2</b>	<b>Die Anfänge der Mikrobiologie</b> .....	26	1.6.6	Verbreitung und Überdauerungsvermögen der Mikroorganismen .....
<b>1.3</b>	<b>Die alten drei Reiche: Tiere, Pflanzen und Protisten</b> .....	28	1.6.7	Mikroorganismen als Modellobjekte der Forschung .....
1.3.1	Tiere .....	29		
1.3.2	Pflanzen .....	29		
1.3.3	Protisten .....	29		
<b>1.4</b>	<b>Von den zwei Reichen der Prokaryon- ten und Eukaryonten zu den drei neuen Reichen</b> .....	29	<b>1.7</b>	<b>Rolle der Mikroorganismen für unse- ren Planeten Erde</b> .....
1.4.1	Die zwei Reiche: Prokaryonten und Eukaryonten .....	29	1.7.1	Kreislauf des Kohlenstoffs .....
1.4.2	Die drei neuen Reiche: Archaea, Bacteria und Eukarya .....	30		Mineralisierung des Kohlenstoffs .....
<b>1.5</b>	<b>Evolution der Organismen und phylo- genetischer Stammbaum</b> .....	31		Kohlendioxidfixierung .....
<b>1.6</b>	<b>Allgemeine Eigenschaften der Mikro- organismen</b> .....	34	1.7.2	Kreislauf des Stickstoffs .....
1.6.1	Das erfolgreiche Prinzip Kleinheit und große Zahl .....	34	1.7.3	Kreislauf des Phosphors .....
1.6.2	Größeneinheit Mikrometer, die Elle des Mikrobiologen .....	34	1.7.4	Kreislauf des Schwefels .....
1.6.3	Große Oberfläche/Volumen-Verhältnis und seine Folgen .....	34	1.7.5	Mikroorganismen und ihre Fressfeinde ..
1.6.4	Stoffwechselfalt und individuelle Anpassungsfähigkeit .....	35	<b>1.8</b>	<b>Mikroorganismen als Symbionten</b> .....
	Stoffwechselfalt .....	35	<b>1.9</b>	<b>Mikroorganismen im Dienste des Menschen</b> .....
	Individuelle Anpassungsfähigkeit .....	36	1.9.1	Klassische mikrobielle Verfahren .....
<b>2</b>	<b>Die Prokaryonta und die prokaryontische Zelle</b> .....	50	1.9.2	Neue mikrobielle Verfahren .....
	<i>Erwin Schneider</i>		1.9.3	Mikroorganismen und Gentechnologie ..
<b>2.1</b>	<b>Überblick</b> .....	50	1.9.4	Mikroorganismen in Umweltprozessen ..
<b>2.2</b>	<b>Prokaryonten versus Eukaryonten</b> .....	50	1.9.5	Monopolstellung der Mikroorganismen ..
2.2.1	Struktur des Genoms .....	50	<b>1.10</b>	<b>Mikroorganismen als Gesundheits- macher – der Mensch als besiedelter Raum</b> .....
2.2.2	Struktur der Zelle .....	51	<b>1.11</b>	<b>Mikroorganismen als Krankheits- erreger</b> .....
<b>2.3</b>	<b>Archaea versus Bacteria</b> .....	54		
<b>2.4</b>	<b>Die Prokaryontenzelle – Zellform, Grö- ße und chemische Zusammensetzung</b> ..	54		
			2.4.1	Morphologische Merkmale .....
			2.4.2	Stoffliche Zusammensetzung .....
				Proteine .....
				Desoxyribonukleinsäure .....
				Ribonukleinsäure .....
				Polysaccharide .....
				Lipide .....

2.4.3	Ausgewählte Beispiele prokaryontischer Organismen aus dem „natürlichen“ System. ....	64	Grüne Schwefelbakterien .....	68
2.4.4	Bacteria. ....	65	Spirochäten. ....	68
	Proteobakterien (= Purpurbakterien). ....	65	<b>Deinococcus</b> .....	68
	Grampositive Bakterien. ....	66	Grüne Nicht-Schwefelbakterien (Grüne schwefelfreie Bakterien .....	69
	Cyanobakterien. ....	67	<b>Thermotoga</b> .....	69
	<b>Chlamydia</b> . ....	67	<b>Aquifex</b> .....	69
	<b>Planctomyces</b> .....	67	2.4.5 Archaea. ....	69
	<b>Bacteroides</b> .....	67	Euryarchaeota. ....	69
			Crenarchaeota .....	69
<b>3</b>	<b>Pilze</b> .....			72
	<i>Erika Kothe</i>			
<b>3.1</b>	<b>Überblick</b> .....	72	<b>3.7 Saprophytisches Wachstum</b> .....	84
<b>3.2</b>	<b>Vorkommen der Pilze</b> .....	72	3.7.1 Schimmelpilze .....	84
<b>3.3</b>	<b>Die pilzliche Zelle</b> .....	72	3.7.2 Weißfäule und Braunfäule. ....	84
3.3.1	Aufbau der pilzlichen Zelle .....	72	<b>3.8 Interaktionen mit Pflanzen – von Phytopathogenen zu Symbionten</b> .....	85
3.3.2	Pilzwachstum. ....	74	3.8.1 Phytopathogene. ....	85
	Hefen .....	74	Infektion durch phytopathogene Pilze. ....	85
	Filamentöse Pilze. ....	74	Pflanzliche Abwehr und Entgiftung von Pflanzenmetaboliten durch den Pilze .....	87
	Septen .....	74	3.8.2 Mykorrhiza. ....	89
<b>3.4</b>	<b>Einteilung der Pilze</b> .....	75	Arbuskuläre Endomykorrhiza. ....	89
3.4.1	Vermehrungsformen der Pilze als Einteilungskriterien .....	76	Ektomykorrhiza. ....	89
3.4.2	Basidiomyceten .....	77	3.8.3 Flechten .....	90
3.4.3	Ascomyceten .....	78	3.8.4 Endophytische Pilze .....	91
3.4.4	Die Verwandtschaftsgruppe der Zygomyceten .....	78	<b>3.9 Tier- und humanpathogene Pilze</b> .....	91
3.4.5	Die Chytridien .....	78	3.9.1 Mykosen .....	91
<b>3.5</b>	<b>Asexuelle Vermehrung</b> .....	78	3.9.2 Insektenpathogene .....	93
3.5.1	Mitose und Zellzyklus. ....	78	<b>3.10 Pilzgenetik</b> .....	93
	Mitose. ....	78	3.10.1 Ascusanalyse .....	93
	Zellzyklus .....	79	3.10.2 Molekulargenetik mit eukaryontischen Systemen .....	95
3.5.2	Asexuelle Vermehrungsformen bei Ascomyceten .....	79	3.10.3 Genomforschung und Transformation. ....	95
3.5.3	Asexuelle Vermehrungsformen bei anderen Pilzen .....	79	<b>3.11 Pilze in der Biotechnologie und Produktion</b> .....	98
<b>3.6</b>	<b>Sexuelle Vermehrung</b> .....	80	3.11.1 Biotechnologie. ....	98
3.6.1	Homothallie und Heterothallie .....	80	3.11.2 Speisepilze und Pilzgifte .....	99
3.6.2	Sexuelle Entwicklung bei Basidiomyceten .....	81	<b>3.12 Vielfalt pilzlicher Lebensformen</b> .....	100
3.6.3	Sexuelle Entwicklung bei Ascomyceten. ....	81	3.12.1 Synchrone Meiose beim Tintling. ....	100
3.6.4	Sexuelle Entwicklung der Zygomyceten ..	83	3.12.2 Effektoren und Umwandlung von Pflanzenorganen durch Brandpilze .....	100

3.12.3	Komplizierte Lebenszyklen bei Rostpilzen	101	3.12.8	Eine Symbiose zwischen Zygomyceten und Bakterien	105
3.12.4	Humanpathogene Pilze	102	3.12.9	Oomyceten: pflanzen- und tierpathogene Vertreter	106
3.12.5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> als Klonierungssystem	103	3.12.10	Mycetozoa: cAMP als Lockstoff	107
3.12.6	Die Innere Uhr: Zeitgeber bei <i>Neurospora crassa</i>	104			
3.12.7	Die phytopathogenen Ascomyceten <i>Ashbya</i> und <i>Claviceps</i>	104			
<b>4</b>	<b>Viren</b>	112			
	<i>Börries Kemper</i>				
<b>4.1</b>	<b>Überblick</b>	112		Doppelsträngige DNA-Viren der Bakterien	125
<b>4.2</b>	<b>Vorkommen und Entdeckung</b>	112	4.8.2	Doppelsträngige DNA-Viren der Eukaryonten	127
<b>4.3</b>	<b>Der technische Umgang mit Viren</b>	115	4.8.3	Partiell doppelsträngige DNA-Viren	129
<b>4.4</b>	<b>Entwicklung</b>	116		Einzelsträngige DNA-Viren (Klasse-II-Viren)	130
4.4.1	Vermehrung von Phagen	117	4.8.4	Einzelsträngige DNA-Viren der Prokaryonten	130
4.4.2	Vermehrung der Viren von Eukaryonten	118		Einzelsträngige DNA-Viren der Eukaryonten	131
4.4.3	Lytischer und lysogener Zyklus	118	4.8.4	Die plus-Strang-RNA-Viren (Klasse-IV- und Klasse-VI-Viren)	132
	Der lytische Zyklus	118		Die plus-Strang-RNA-Viren der Prokaryonten	132
	Der lysogene Zyklus	119	4.8.5	Die plus-Strang-RNA-Viren der Eukaryonten	133
4.4.4	Regulation von Infektionsabläufen	119	4.8.5	Die minus-Strang-RNA-Viren der Eukaryonten (Klasse-V-Viren)	135
<b>4.5</b>	<b>Aufbau</b>	121	4.8.6	Doppelsträngige RNA-Viren (Klasse-III-Viren)	137
<b>4.6</b>	<b>Mechanismen der Verbreitung</b>	123		Doppelsträngige RNA-Viren der Prokaryonten	137
<b>4.7</b>	<b>Klassifizierung der Viren</b>	124		Doppelsträngige RNA-Viren der Eukaryonten	137
<b>4.8</b>	<b>Beispiele</b>	124		Doppelsträngige RNA-Viren der Hefe <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	137
4.8.1	Doppelsträngige DNA-Viren (Klasse-I-Viren)	125	<b>4.9</b>	<b>Viroide</b>	138
<b>5</b>	<b>Die Besonderheiten prokaryontischer Zellen</b>	142			
	<i>Erwin Schneider</i>				
<b>5.1</b>	<b>Überblick</b>	142	<b>5.5</b>	<b>Zellwand</b>	147
<b>5.2</b>	<b>Abbildung von Mikroorganismen</b>	143	5.5.1	Zellwand der Bacteria	147
5.2.1	Lichtmikroskopie	143	5.5.2	Zellwand der Archaea	149
5.2.2	Elektronenmikroskopie	145	<b>5.6</b>	<b>Kapseln und Schleime</b>	149
<b>5.3</b>	<b>Chromosom und Plasmide</b>	145	<b>5.7</b>	<b>Zellmembranen</b>	150
<b>5.4</b>	<b>Ribosomen</b>	146	5.7.1	Cytoplasmamembran	150
			5.7.2	Die äußere Membran gramnegativer Bakterien	152

<b>5.8</b>	<b>Das prokaryontische Cytoskelett</b> .....	155	<b>5.11</b>	<b>Zellanhänge</b> .....	164
5.8.1	FtsZ und die Zellteilung .....	155	5.11.1	Flagellen und Chemotaxis .....	164
5.8.2	MreB und die Zellform .....	158	5.11.2	Fimbrien und Pili .....	168
5.8.3	Crescentin .....	159	5.11.3	Cellulosomen .....	170
<b>5.9</b>	<b>Organellähnliche Kompartimente</b> .....	159	<b>5.12</b>	<b>Spezielle Zelldifferenzierung</b> .....	171
5.9.1	Von einer Lipidmembran umschlossene Kompartimente .....	159	5.12.1	Endosporen und andere Dauerformen .....	171
5.9.2	Proteinumhüllte Kompartimente .....	161	5.12.2	Heterocysten .....	172
<b>5.10</b>	<b>Speicherstoffe</b> .....	162	<b>5.13</b>	<b>Prokaryontische und eukaryontische Zellen im Vergleich</b> .....	173
5.10.1	Polysaccharide .....	162	<b>5.14</b>	<b>Angriffsorte und Wirkungsweise wichtiger Antibiotika</b> .....	173
5.10.2	Fettartige Substanzen .....	163			
5.10.3	Polyphosphate .....	163			
5.10.4	Schwefel .....	164			
5.10.5	Cyanophycin .....	164			
5.10.6	Andere Zelleinschlüsse .....	164			
<b>6</b>	<b>Prokaryontische Genetik und Molekularbiologie</b> .....	178			
	<i>Thomas Eitinger</i>				
<b>6.1</b>	<b>Einführung</b> .....	178	<b>6.6</b>	<b>Mobile genetische Elemente</b> .....	191
<b>6.2</b>	<b>Organisation prokaryontischer DNA</b> .....	178	6.6.1	Insertions-(IS-)Elemente .....	191
6.2.1	Struktur der DNA .....	178	6.6.2	Transposons .....	191
6.2.2	Chromosomen .....	179	6.6.3	Konjugative Transposons .....	194
6.2.3	Plasmide .....	180	<b>6.7</b>	<b>Mechanismen der Genübertragung</b> .....	194
<b>6.3</b>	<b>Weitergabe genetischer Information: DNA-Replikation</b> .....	181	6.7.1	Transformation .....	195
6.3.1	DNA-Polymerasen .....	181	6.7.2	Konjugation .....	196
6.3.2	Reaktionen an der Replikationsgabel .....	181		Hfr-Stämme .....	199
6.3.3	Segregation von Chromosomen und Plasmiden .....	183		Mobilisierbare Plasmide .....	200
<b>6.4</b>	<b>Mutationen und DNA-Reparatur</b> .....	184		Konjugation zwischen grampositiven Bakterien und zwischen Archaeobakterien .....	200
6.4.1	Arten von Mutationen .....	184	6.7.3	Transduktion .....	200
6.4.2	Entstehung von Mutationen .....	184		Allgemeine Transduktion .....	201
	Mutagene Verbindungen .....	186		Spezifische Transduktion .....	201
6.4.3	Selektion von Mutanten .....	187		Andere Transduktionsformen .....	201
6.4.4	DNA-Reparatur .....	188	<b>6.8</b>	<b>Restriktion, Modifikation und prokaryontische Immunsysteme</b> .....	202
	Reparatur von Fehlpaarungen .....	188	6.8.1	Typ-I-R/M-Systeme .....	202
	Reparatur alkylierter Nukleotide .....	189	6.8.2	Typ-II-R/M-Systeme .....	202
	Reparatur von Schäden durch UV-Licht .....	189	6.8.3	Typ-III-R/M-Systeme .....	203
<b>6.5</b>	<b>Genetische Rekombination</b> .....	190	6.8.4	Typ-IV-Restriktionsendonukleasen .....	203
6.5.1	Homologe Rekombination .....	190	6.8.5	Immunsystem in Eubakterien und Archaeobakterien .....	203
6.5.2	Nichthomologe Rekombination .....	191			

<b>6.9</b>	<b>Expression genetischer Information: Transkription und Translation</b> . . . . .	203	<b>6.10</b>	<b>DNA-Klonierung</b> . . . . .	210
6.9.1	Transkription . . . . .	203	6.10.1	Plasmide als Vektoren . . . . .	211
	RNA-Polymerasen . . . . .	204	6.10.2	Phagen als Vektoren . . . . .	212
	Initiation und Elongation . . . . .	204	6.10.3	Cosmide . . . . .	214
	Termination . . . . .	205	6.10.4	YACs, BACs und PACs: Vektoren für sehr große DNA-Fragmente . . . . .	214
6.9.2	Translation . . . . .	205	6.10.5	cDNA-Banken und Ligationsverfahren . . . . .	214
	Aminoacyl-tRNA-Synthese . . . . .	205	6.10.6	Identifizierung rekombinanter Klone . . . . .	215
	Der genetische Code . . . . .	206	<b>6.11</b>	<b>DNA-Sequenzierung und Genomsequenzen</b> . . . . .	216
	Initiation . . . . .	206	6.11.1	Genomsequenzierung . . . . .	216
	Elongation . . . . .	207	6.11.2	Genomgrößen und Genomorganisation . . . . .	219
	Termination . . . . .	208	6.11.3	Genomvergleiche . . . . .	221
	Faltungshelfer . . . . .	208	<b>6.12</b>	<b>Postgenomik, Metagenomik und synthetische Biologie</b> . . . . .	221
	Co- und posttranslationale Modifikationen . . . . .	209			
	Archaeobakterielle Translation . . . . .	210			
<b>7</b>	<b>Wachstum und Ernährung der Mikroorganismen</b> . . . . .	228			
	<i>Bernhard Schink</i>				
<b>7.1</b>	<b>Überblick</b> . . . . .	228		Komplexe oder undefinierte Nährböden . . . . .	233
<b>7.2</b>	<b>Chemische Zusammensetzung der Zelle und Nahrungsbedarf</b> . . . . .	228	7.6.2	Feste Nährböden . . . . .	233
7.2.1	Elementare Nährstoffansprüche . . . . .	228		Kultivierungstechniken . . . . .	233
7.2.2	Ergänzungstoffe . . . . .	229		Kohlendioxidversorgung . . . . .	233
				Belüftung . . . . .	233
<b>7.3</b>	<b>Ernährungstypen und Lebensstrategien</b> . . . . .	229		Anaerobenkultur . . . . .	234
7.3.1	Energiequellen . . . . .	229	<b>7.7</b>	<b>Selektive Kulturmethoden</b> . . . . .	235
7.3.2	Elektronendonatoren und Kohlenstoffquellen . . . . .	229	7.7.1	Anreicherungskultur . . . . .	235
			7.7.2	Reinkultur . . . . .	237
<b>7.4</b>	<b>Substrate für Mikroorganismen</b> . . . . .	230	7.7.3	Mischkultur . . . . .	237
7.4.1	Kohlenstoffquellen . . . . .	230	<b>7.8</b>	<b>Wachstum und Zellteilung</b> . . . . .	238
7.4.2	Schwefel und Stickstoff . . . . .	230	7.8.1	Methoden zur Bestimmung der Zellzahl und der Bakterienmasse . . . . .	238
7.4.3	Phosphor . . . . .	230		Bestimmung der Zellzahl . . . . .	238
7.4.4	Sauerstoff . . . . .	230		Bestimmung der Zellmasse . . . . .	239
<b>7.5</b>	<b>Anpassung an unterschiedliche Umweltbedingungen</b> . . . . .	231	7.8.2	Kinetik des Wachstums . . . . .	239
7.5.1	Temperatur . . . . .	231	<b>7.9</b>	<b>Physiologie des Wachstums</b> . . . . .	240
7.5.2	Wasserstoffionenkonzentration . . . . .	231	7.9.1	Bakterienwachstum in statischer Kultur . . . . .	241
7.5.3	Wassergehalt und osmotischer Wert . . . . .	232	7.9.2	Parameter der Wachstumskurve . . . . .	242
<b>7.6</b>	<b>Zusammensetzung von Nährmedien und Kultivierungstechniken</b> . . . . .	232	7.9.3	Lineares Wachstum . . . . .	243
7.6.1	Nährböden . . . . .	233	7.9.4	Bakterienwachstum in kontinuierlicher Kultur . . . . .	243
				Wachstum im Chemostaten . . . . .	244
				Wachstum im Turbidostaten . . . . .	246
			7.9.5	Unterschiede zwischen statischer und kontinuierlicher Kultur . . . . .	246

<b>7.10</b>	<b>Hemmung des Wachstums und Abtötung</b> .....	246	<b>7.12</b>	<b>Konservierungsverfahren</b> .....	251
7.10.1	Schädigung der Zellgrenzschichten .....	246	7.12.1	Physikalische Konservierungsverfahren ..	251
7.10.2	Hemmung des Stoffwechsels.....	246	7.12.2	Chemische Konservierungsverfahren ....	252
7.10.3	Einfluss von Antibiotika.....	247	<b>7.13</b>	<b>Kulturerhaltung</b> .....	252
7.10.4	Absterben und Abtötung von Mikroorganismen .....	248	7.13.1	Dauerkulturen.....	252
<b>7.11</b>	<b>Sterilisation und Desinfektion</b> .....	248	7.13.2	Lebendkulturen.....	253
7.11.1	Feuchte Hitze.....	248	<b>7.14</b>	<b>Mikrobiologische Diagnostik</b> .....	253
7.11.2	Trockene Hitze.....	249	7.14.1	Klassische Techniken .....	253
7.11.3	Filtration.....	250	7.14.2	Molekularbiologische Techniken .....	254
7.11.4	Bestrahlung .....	250			
7.11.5	Chemische Mittel .....	250			
<b>8</b>	<b>Zentrale Stoffwechselwege</b> .....	258			
	<i>Georg Fuchs</i>				
<b>8.1</b>	<b>Überblick</b> .....	258	<b>8.8</b>	<b>Elektronentransportphosphorylierung der Atmungskette</b> .....	274
<b>8.2</b>	<b>Grundmechanismen des Stoffwechsels und der Energieumwandlung</b> .....	258	8.8.1	Energetische Grundlagen und das Prinzip der Atmungskette .....	274
8.2.1	Funktion der Enzyme .....	259		Redoxpotenzial .....	275
	Wirkungsweise der Enzyme.....	259	8.8.2	Komponenten der Atmungskette .....	275
	Regulation der katalytischen Aktivität .....	260		Flavoproteine .....	275
	Coenzyme und prosthetische Gruppen .....	260		Eisen-Schwefel-Proteine .....	276
8.2.2	Dehydrogenierung und Pyridinnukleotide	262		Chinone .....	276
				Cytochrome .....	276
<b>8.3</b>	<b>Allgemeines Prinzip des Stoffwechsels</b> .....	263	8.8.3	Atmungskette bei der Veratmung von Sauerstoff .....	278
<b>8.4</b>	<b>Umwandlung von Energie</b> .....	264		Oxidasepositive Bakterien .....	279
8.4.1	ATP und andere energiereiche Verbindungen.....	264		Oxidasenegative Bakterien und verzweigte Atmungsketten.....	280
8.4.2	Regeneration von ATP.....	265	8.8.4	Elektronentransportphosphorylierung ...	281
<b>8.5</b>	<b>Wege des Hexoseabbaus</b> .....	265		Elektrochemisches Potenzial .....	281
8.5.1	Glykolyse .....	265		ATP-Synthese .....	282
8.5.2	Pentosephosphatweg und oxidativer Pentosephosphatzyklus .....	267	8.8.5	Rückläufiger Elektronentransport .....	284
8.5.3	KDPG-(2-Keto-3-desoxy-6-phosphogluconat-)Weg .....	269	8.8.6	Elektronentransportprozesse bei anaeroben Bakterien.....	285
8.5.4	Wege des Zuckerstoffwechsels in Archaea	269	<b>8.9</b>	<b>Eigenschaften und Funktionen von Sauerstoff</b> .....	285
8.5.5	Energiebilanzen und Verbreitung der Zuckerabbauwege .....	270	8.9.1	Regulation durch Sauerstoff.....	285
<b>8.6</b>	<b>Oxidation von Pyruvat</b> .....	271	8.9.2	Toxische Wirkung des Sauerstoffs und Entgiftungsreaktionen .....	285
<b>8.7</b>	<b>Citratzyklus und alternative Wege</b> ....	272	8.9.3	Sauerstoff als Cosubstrat .....	286
			8.9.4	Sauerstoff und Biolumineszenz.....	286

<b>8.10</b>	<b>Verbindung zwischen Energiestoffwechsel und Biosynthese</b> .....	287			
8.10.1	Bereitstellung des Kohlenstoffs für die Biosynthese .....	287			
8.10.2	Gluconeogenese, Hilfszyklen und Sonderwege .....	287			
			8.10.3	Regulation von Enzymaktivität und Genexpression .....	291
<b>9</b>	<b>Biosynthesen</b> .....				294
	<i>Georg Fuchs</i>				
<b>9.1</b>	<b>Überblick</b> .....	294	9.8.2	Alternative Wege der CO <sub>2</sub> -Fixierung .....	312
<b>9.2</b>	<b>Organisation der „Zellfabrik“</b> .....	294		Reduktiver Acetyl-CoA-Weg .....	312
<b>9.3</b>	<b>Syntheseleistung der Zelle</b> .....	296		Reduktiver Citratzyklus .....	312
<b>9.4</b>	<b>Metabolite und ihre Konzentrationen in der Zelle</b> .....	296	9.8.3	Besondere Wege der CO <sub>2</sub> -Fixierung .....	313
<b>9.5</b>	<b>Makromoleküle und ihre Bausteine</b> ...	297		Ökologische, ökonomische und evolutionäre Aspekte .....	313
<b>9.6</b>	<b>Assimilation der Elemente N, S, P und der Spurenelemente</b> .....	298	9.8.4	Synthese von Zellmaterial aus Formaldehyd .....	314
9.6.1	Stickstoff .....	298		Hexulosephosphatzyklus .....	314
	Ammoniak bzw. Nitrat als N-Quelle .....	298		Serinweg .....	316
	Molekularer Stickstoff als N-Quelle .....	299		Dihydroxyacetonzyklus .....	316
9.6.2	Schwefel .....	302		Anaerober Weg .....	316
	Sulfat als S-Quelle .....	302	<b>9.9</b>	<b>Biosynthesen der Bausteine</b> .....	316
	Fixierung und Übertragung von Schwefelwasserstoff .....	303	9.9.1	Aminosäuren .....	316
9.6.3	Phosphor .....	303	9.9.2	Zucker .....	318
9.6.4	Spurenelemente .....	304	9.9.3	Nukleotide und Desoxynukleotide .....	319
<b>9.7</b>	<b>Bereitstellung von C<sub>1</sub>-Einheiten, Energie, Reduktions- und Oxidationsmitteln</b> .....	306	9.9.4	Lipide .....	320
9.7.1	C <sub>1</sub> -Einheiten .....	306	9.9.5	Speicherstoffe .....	323
9.7.2	Energie .....	307	<b>9.10</b>	<b>Sekundärmetabolite</b> .....	325
9.7.3	Reduktions- und Oxidationsmittel .....	308	9.10.1	Funktion von Sekundärmetaboliten .....	325
<b>9.8</b>	<b>Synthese von Zellmaterial aus CO<sub>2</sub></b> ....	308	9.10.2	Beispiele für Sekundärmetabolite .....	326
9.8.1	Calvin-Benson-Zyklus .....	310	<b>9.11</b>	<b>Synthesen von komplexen Zellstrukturen</b> .....	327
<b>10</b>	<b>Transport durch die Cytoplasmamembran</b> .....				
	<i>Erwin Schneider</i>		9.11.1	Synthese von Zellwandkomponenten an der Membran .....	327
<b>10.1</b>	<b>Überblick</b> .....	334	9.11.2	Zusammenbau komplexer Strukturen ....	329
<b>10.2</b>	<b>Grundlagen des Transports</b> .....	334			
10.2.1	Passiver Transport durch Diffusion .....	334	10.2.2	Passiver Transport durch Kanalproteine ..	334
			10.2.3	Aktiver Transport durch Carrier .....	335

<b>10.3</b>	<b>Transportmechanismen und Transportsysteme</b> .....	335	<b>10.4.3</b>	Transportsysteme als Mediatoren der Differenzierung .....	343
10.3.1	Primäre Transportsysteme .....	337	<b>10.5</b>	<b>Resistenz durch proteinvermittelten Export</b> .....	343
	ABC-Transporter .....	337			
	Na <sup>+</sup> -abhängige Decarboxylasen .....	338	<b>10.6</b>	<b>Translokationssysteme für den Proteinexport</b> .....	344
10.3.2	Sekundäre Transportsysteme .....	339			
10.3.3	Gruppentranslokation .....	340	10.6.1	Sec-Translokationssystem .....	344
10.3.4	Zusammenwirken von Exoenzymen und Transport .....	341	10.6.2	Tat-Translokationssystem .....	348
			10.6.3	Spezielle Sekretionssysteme .....	348
				Sec-abhängige Systeme .....	348
				Sec-unabhängige Systeme .....	348
<b>10.4</b>	<b>Weitere Aspekte der Transportsysteme</b> .....	341	<b>10.7</b>	<b>Aufnahme von DNA</b> .....	350
10.4.1	Beteiligung von Transportsystemen an der Gen- und Proteinregulation .....	341			
10.4.2	Transportsysteme als chemotaktische Rezeptoren .....	343			
<b>11</b>	<b>Abbau organischer Verbindungen</b> .....	354			
	<i>Georg Fuchs</i>				
<b>11.1</b>	<b>Überblick</b> .....	354	11.6.1	Proteine .....	364
<b>11.2</b>	<b>Aerobe und anaerobe Mineralisierung</b> .....	354	11.6.2	Nukleinsäuren .....	365
11.2.1	Aerobe Mineralisierung .....	354	11.6.3	Lipide .....	366
11.2.2	Anaerobe Mineralisierung .....	355	<b>11.7</b>	<b>Abbau niedermolekularer Substanzen</b> .....	367
<b>11.3</b>	<b>Gemeinsame Aspekte des Polymerabbaus</b> .....	355	11.7.1	Zucker .....	368
<b>11.4</b>	<b>Abbau von Polysacchariden</b> .....	356	11.7.2	Aminosäuren .....	370
11.4.1	Cellulose .....	357	11.7.3	Aromatische Verbindungen .....	372
11.4.2	Hemicellulosen .....	357		Aerobe Abbau von Aromaten .....	372
11.4.3	Pectine .....	358		Anaerobe Abbau von Aromaten .....	374
11.4.4	Andere Polysaccharide .....	359	11.7.4	Kohlenwasserstoffe .....	376
11.4.5	Chitin und Murein .....	359		Aerobe Abbau von Kohlenwasserstoffen .....	376
11.4.6	Stärke .....	360		Anaerobe Abbau von Kohlenwasserstoffen .....	379
11.4.7	Fructane .....	361	11.7.5	Fettsäuren .....	379
<b>11.5</b>	<b>Abbau von Lignin</b> .....	362	11.7.6	Purine, Pyrimidine und andere heterozyklische Verbindungen .....	382
<b>11.6</b>	<b>Abbau von Proteinen, Nukleinsäuren und Lipiden</b> .....	364	<b>11.8</b>	<b>Abbau und Cometabolismus von Xenobiotika</b> .....	382
			<b>11.9</b>	<b>Unvollständige Oxidationen</b> .....	384
<b>12</b>	<b>Oxidation anorganischer Verbindungen: chemolithotrophe Lebensweise</b> .....	388			
	<i>Johann Heider</i>				
<b>12.1</b>	<b>Überblick</b> .....	388	12.2.1	Art und Herkunft der Substrate .....	388
<b>12.2</b>	<b>Habitate und Lebensweise von chemolithotrophen Bakterien</b> .....	388	12.2.2	Habitate .....	388
			12.2.3	Lebensweise .....	390
				Kultivierung .....	390

12.2.4	Stoffwechselformen und ihre Nischen . . . . .	390	12.5.1	Biochemie der Sulfid- und Schwefeloxida- tion . . . . .	400
12.2.5	Symbiosen . . . . .	392		Schwefelstoffwechsel in <i>Acidianus ambivalens</i> .	400
<b>12.3</b>	<b>Prinzipien der Lithotrophie . . . . .</b>	<b>392</b>		Schwefelstoffwechsel in neutrophilen Bakterien	401
12.3.1	Stoffwechselprinzip . . . . .	392	12.5.2	Schwefelwasserstoffoxidierende Symbion- ten . . . . .	402
12.3.2	Rückläufiger Elektronentransport . . . . .	393	<b>12.6</b>	<b>Reduzierte Metallionen als Elektronen- donatoren . . . . .</b>	<b>403</b>
<b>12.4</b>	<b>Reduzierte Stickstoffverbindungen als Elektronendonatoren . . . . .</b>	<b>393</b>	12.6.1	Biochemie der Oxidation von Metallionen	405
12.4.1	Ammonium- und nitritoxidierende Nitrifi- kanten . . . . .	394	12.6.2	Erzlaugung . . . . .	405
12.4.2	Biochemie der Ammoniumoxidation . . . . .	395	<b>12.7</b>	<b>Wasserstoff als Elektronendonator . . . . .</b>	<b>405</b>
12.4.3	Biochemie der Nitritoxidation . . . . .	395	12.7.1	Biochemische Grundlagen . . . . .	406
12.4.4	Ökologische und praktische Bedeutung der Nitrifikation . . . . .	396	12.7.2	Aerobe wasserstoffoxidierende Mikro- organismen . . . . .	406
<b>12.5</b>	<b>Reduzierte Schwefelverbindungen als Elektronendonatoren . . . . .</b>	<b>397</b>	<b>12.8</b>	<b>Kohlenmonoxid als Elektronendonator</b>	<b>407</b>
<b>13</b>	<b>Mikrobielle Gärungen . . . . .</b>	<b>410</b>			
	<i>Johann Heider</i>				
<b>13.1</b>	<b>Überblick . . . . .</b>	<b>410</b>	<b>13.4</b>	<b>Ethanolgärung . . . . .</b>	<b>421</b>
<b>13.2</b>	<b>Prinzipien der Gärung . . . . .</b>	<b>410</b>	13.4.1	Biochemie der Ethanolbildung . . . . .	421
13.2.1	Habitate von gärenden Mikroorganismen.	410	13.4.2	Praktische Bedeutung der alkoholischen Gärung . . . . .	422
13.2.2	Regeneration der Redox-Carrier . . . . .	410		Wein . . . . .	422
13.2.3	Gärungstypen . . . . .	411		Sekt . . . . .	424
13.2.4	Substratphosphorylierung . . . . .	411		Bier . . . . .	424
13.2.5	Energiekonservierung durch Elektronen- bifurkation . . . . .	411		Backhefe . . . . .	424
13.2.6	Ferredoxingetriebene Protonen- bzw. Na <sup>+</sup> -Pumpen . . . . .	414		Ethanol . . . . .	424
13.2.7	Wasserstoff als Gärungsprodukt . . . . .	414	<b>13.5</b>	<b>Gemischte Säuregärung . . . . .</b>	<b>425</b>
13.2.8	Biotechnologische Bedeutung von Gärungen . . . . .	415	13.5.1	Biochemie der gemischten Säuregärung . .	426
<b>13.3</b>	<b>Milchsäuregärung . . . . .</b>	<b>415</b>		Gemischte Säuregärung . . . . .	426
13.3.1	Milchsäurebakterien . . . . .	415		Butandiolgärung bei <i>Enterobacter</i> . . . . .	427
13.3.2	Homofermentative Milchsäuregärung . . . .	416	13.5.2	Bedeutung der gemischten Säuregärung für Trinkwasser- und Labordiagnostik . . . .	428
13.3.3	Heterofermentative Milchsäuregärung . . .	417	<b>13.6</b>	<b>Buttersäure- und Lösungsmittelgärung</b>	<b>429</b>
13.3.4	<i>Bifidobacterium</i> -Gärung . . . . .	418	13.6.1	Buttersäuregärende Clostridien . . . . .	429
13.3.5	Praktische Bedeutung der Milchsäure- bakterien . . . . .	419	13.6.2	Biochemische Grundlagen der Butter- säuregärung . . . . .	429
	Milchprodukte . . . . .	419	13.6.3	Lösungsmittelgärung (Butanolgärung) . . .	431
	Käse . . . . .	419	<b>13.7</b>	<b>Propionsäuregärung . . . . .</b>	<b>431</b>
	Weitere Lebensmittel . . . . .	419	13.7.1	<i>Propionibacterium</i> . . . . .	431
	Silage . . . . .	420			
13.3.6	Medizinische Bedeutung von Milchsäure- bakterien . . . . .	420			

13.7.2	Biochemische Grundlagen der Propion- säuregärung.....	431			
	Methylmalonyl-CoA-Weg .....	431			
	Acrylyl-CoA-Weg.....	432			
<b>13.8</b>	<b>Vergärung von Aminosäuren .....</b>	<b>433</b>			
13.8.1	Stickland-Gärung .....	433			
13.8.2	Vergärung von Glutamat .....	434			
<b>14</b>	<b>Anaerobe Atmung .....</b>				<b>442</b>
	<i>Johann Heider</i>				
<b>14.1</b>	<b>Überblick.....</b>	<b>442</b>	<b>14.7</b>	<b>Schwefel als Elektronenakzeptor.....</b>	<b>454</b>
<b>14.2</b>	<b>Energetisches Prinzip .....</b>	<b>442</b>	14.7.1	Polysulfidatmung in <i>Wolinella succinogenes</i> .....	454
<b>14.3</b>	<b>Nitrat, Nitrit, N<sub>2</sub>O als Elektronenakzeptoren.....</b>	<b>444</b>	14.7.2	Syntrophe Assoziation von <i>Desulfuromonas acetoxidans</i> mit Grünen Schwefelbakterien .....	455
14.3.1	Denitrifikation .....	444			
	Reduktion von Nitrat zu Nitrit .....	444			
	Reduktion von Nitrit zu molekularem Stickstoff.....	445			
14.3.2	Nitratammonifikation .....	446			
14.3.3	Anammoxreaktion .....	446	<b>14.8</b>	<b>Methanogenese: CO<sub>2</sub> als Elektronenakzeptor .....</b>	<b>456</b>
<b>14.4</b>	<b>Fumarat als Elektronenakzeptor .....</b>	<b>447</b>	14.8.1	Methanogene Organismen.....	456
				Eigenschaften .....	456
				Ökologie .....	457
<b>14.5</b>	<b>Oxidierete Metallionen als Elektronenakzeptoren .....</b>	<b>448</b>	14.8.2	Methanbildung aus H <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> .....	458
			14.8.3	Methanbildung aus Acetat .....	459
<b>14.6</b>	<b>Sulfat als Elektronenakzeptor .....</b>	<b>449</b>	<b>14.9</b>	<b>Acetogenese: CO<sub>2</sub> als Elektronenakzeptor .....</b>	<b>461</b>
14.6.1	Biochemie der Sulfatreduktion .....	451	14.9.1	Biochemie der Acetogenese.....	461
14.6.2	Energetik der Sulfatatmung.....	452			
14.6.3	Unterschiede zwischen assimilatorischer und dissimilatorischer Sulfatreduktion .....	452	<b>14.10</b>	<b>Reduktion weiterer Elektronenakzeptoren .....</b>	<b>463</b>
14.6.4	Rolle der sulfatreduzierenden Mikroorganismen im Naturhaushalt.....	453	14.10.1	Sulfoxide und Aminoxide.....	463
			14.10.2	Anorganische Oxyanionen.....	463
			14.10.3	Chlororganische Verbindungen.....	464
<b>15</b>	<b>Phototrophe Lebensweise.....</b>				<b>466</b>
	<i>Georg Fuchs</i>				
<b>15.1</b>	<b>Überblick.....</b>	<b>466</b>	<b>15.3</b>	<b>Oxygene phototrophe Bakterien (Cyanobakterien) .....</b>	<b>468</b>
<b>15.2</b>	<b>Bedeutung und Prinzipien der Photosynthese .....</b>	<b>466</b>	15.3.1	Vorkommen und Rolle von Cyanobakterien .....	468
15.2.1	Licht als Energiequelle und phototrophes Wachstum .....	466	15.3.2	Stoffwechsel und Zellstruktur.....	469
15.2.2	Prinzipien der Photosynthese .....	467	15.3.3	Morphologische Gruppen .....	470
			15.3.4	Zelldifferenzierungen.....	472

<b>15.4</b>	<b>Anoxygene phototrophe Bakterien</b> . . . . .	472	<b>15.7</b>	<b>Oxygene Photosynthese</b> . . . . .	484
15.4.1	Vorkommen und Rolle von anoxygenen phototrophen Bakterien. . . . .	473	15.7.1	Die photosynthetische Redoxkette im Überblick . . . . .	484
15.4.2	Purpurbakterien und Grüne Nicht-Schwefelbakterien (Photosysteme vom Typ II) . . . . .	475	15.7.2	Photosystem II (Chinon-Typ) und Wasserspaltung . . . . .	485
	Purpurbakterien . . . . .	475	15.7.3	Elektronentransportkette . . . . .	487
	Die Grünen Nicht-Schwefelbakterien. . . . .	476		Der Cytochrom- <i>b<sub>6</sub>f</i> -Komplex. . . . .	487
15.4.3	Grüne Schwefelbakterien und Heliobakterien (Photosysteme vom Typ I) . . . . .	477		Plastocyanin . . . . .	487
	Grüne Schwefelbakterien . . . . .	477	15.7.4	Photosystem I (FeS-Typ) und NADPH-Bildung . . . . .	487
	Heliobakterien . . . . .	478	15.7.5	Zyklische Photophosphorylierung . . . . .	487
15.4.4	Aerobe anoxygene phototrophe Bakterien (Photosysteme vom Typ II oder Bakteriorhodopsin) . . . . .	478	15.7.6	Bilanz, Quantenbedarf und Wirkungsgrad der Lichtreaktion. . . . .	487
<b>15.5</b>	<b>Photosynthetische Pigmente und Thylakoide</b> . . . . .	478	<b>15.8</b>	<b>Anoxygene Photosynthese</b> . . . . .	489
15.5.1	Chlorophylle und Bakteriochlorophylle. . . . .	479	15.8.1	Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den anoxygenen Photosystemen . . . . .	489
	Chlorophyll . . . . .	479	15.8.2	Photosysteme vom Typ II (Chinon-Typ) und vom Typ I (FeS-Typ). . . . .	490
	Bakteriochlorophylle. . . . .	479		Photosystem II . . . . .	490
15.5.2	Akzessorische Pigmente. . . . .	480		Photosystem I . . . . .	490
	Carotinoide . . . . .	480	<b>15.9</b>	<b>Bakteriorhodopsin- und proteorhodopsinabhängige Photosynthese</b> . . . . .	491
	Phycobiline . . . . .	482			
15.5.3	Thylakoide . . . . .	482			
<b>15.6</b>	<b>Antennenkomplexe</b> . . . . .	482			
15.6.1	LH I und LH II . . . . .	483			
15.6.2	Chlorosomen . . . . .	483			
15.6.3	Phycobilisomen . . . . .	483			
<b>16</b>	<b>Regulation des Stoffwechsels und des Zellaufbaus von Bakterien</b> . . . . .	494			
	<i>Gottfried Unden</i>				
<b>16.1</b>	<b>Überblick</b> . . . . .	494	16.3.6	Kontrolle durch regulatorische RNA und Attenuation . . . . .	500
<b>16.2</b>	<b>Aufrechterhaltung des Zellmilieus und Antwort auf Änderungen</b> . . . . .	494		<i>Trans</i> -codierte sRNA . . . . .	500
<b>16.3</b>	<b>Mechanismen zur Anpassung und Änderung des Zellaufbaus</b> . . . . .	495		<i>Cis</i> -codierte regulatorische RNA . . . . .	500
				Attenuation. . . . .	501
16.3.1	Veränderung der DNA-Struktur . . . . .	495	16.3.7	Posttranslationale Regulation . . . . .	502
16.3.2	Kontrolle der Transkription und Translation. . . . .	496	<b>16.4</b>	<b>Reizaufnahme und Reizverarbeitung</b> . . . . .	504
16.3.3	Regulation der Transkription durch DNA-bindende Proteine. . . . .	496	16.4.1	Membranständige und cytoplasmatische Sensoren. . . . .	504
	Negative Regulation durch Repressorproteine. . . . .	497	16.4.2	Regulons, Stimulons und Netzwerke . . . . .	504
	Positive Regulation durch Aktivatorproteine . . . . .	497	16.4.3	Aufbau und Funktion von Zweikomponentensystemen. . . . .	505
	Verwendung komplexer Promotoren . . . . .	498	16.4.4	Intrazelluläre Signalmoleküle . . . . .	506
16.3.4	Alternative $\sigma$ -Faktoren . . . . .	499	<b>16.5</b>	<b>Regulation von Katabolismus und Energiestoffwechsel</b> . . . . .	506
16.3.5	Funktionskontrolle durch Synthese und Proteolyse. . . . .	499			

16.5.1	Übergeordnete Regulation des Kohlenstoffkatabolismus .....	507	<b>16.8</b>	<b>Spezifische Stressreaktionen.</b> .....	517
16.5.2	Regulation des Stoffwechsels durch Elektronenakzeptoren .....	509	16.8.1	Oxidativer Stress .....	518
	Regulatorsysteme .....	510	16.8.2	Hitze- und Kälteschockreaktion .....	518
<b>16.6</b>	<b>Regulation der Stickstoffassimilierung.</b>	512		Regulation der Hitzeschockantwort .....	519
<b>16.7</b>	<b>Stringente Kontrolle und generelle Stressantwort</b> .....	514		Kälteschock .....	519
16.7.1	Stringente Kontrolle und Kopplung von Anabolismus und Katabolismus .....	514	16.8.3	Hüllstress und Reizerkennung durch ECF- $\sigma$ -Faktoren .....	520
16.7.2	Generelle Stressantwort und Regulation der stationären Phase in <i>E. coli</i> .....	515	16.8.4	Osmoregulation .....	520
	Regulation durch den alternativen $\sigma$ -Faktor $\sigma^S$ in <i>E. coli</i> .....	515	<b>16.9</b>	<b>Interzelluläre Kommunikation und Zelldichteregulation (Quorum Sensing)</b>	521
	Regulation durch den alternativen $\sigma$ -Faktor $\sigma^B$ in <i>Bacillus</i> .....	516	<b>16.10</b>	<b>Chemotaxis.</b> .....	523
16.7.3	Toxin-Antitoxin-Systeme und bakterielle Persistenz .....	516	<b>16.11</b>	<b>Differenzierung bei Bakterien.</b> .....	524
<b>17</b>	<b>Mikrobielle Vielfalt, Evolution und Systematik.</b> .....	532	16.11.1	Endosporenbildung bei <i>B. subtilis</i> .....	525
	<i>Jörg Overmann</i>		16.11.2	Lebenszyklus von <i>Caulobacter crescentus</i>	527
<b>17.1</b>	<b>Überblick.</b> .....	532	16.11.3	Fruchtkörperbildende Myxobakterien ....	528
<b>17.2</b>	<b>Diversität.</b> .....	532	<b>17.4</b>	<b>Evolutionäre Grundlagen der prokaryontischen Vielfalt</b> .....	541
17.2.1	Diversitätsbegriff und Definition .....	532	17.4.1	Mechanismen prokaryontischer Evolution und Relevanz für die Systematik. ....	541
17.2.2	Quantifizierung und Umfang mikrobieller Diversität .....	532		Mutation .....	541
	Beobachtungseinheit der mikrobiellen Diversitätsforschung .....	532		Rekombination .....	541
	Umfang bakterieller Diversität. ....	534		Selektion .....	542
17.2.3	Relevanz der mikrobiellen Diversitätsforschung .....	534	17.4.2	Migration .....	543
<b>17.3</b>	<b>Systematik der Prokaryonten</b> .....	535		Populationsgenetische Evolutionsmodelle	543
17.3.1	Bestandteile der Systematik: Charakterisierung, Taxonomie, und Phylogenie .....	535	<b>17.5</b>	<b>Archaea – extremophile lebende Fossilien?</b> .....	543
17.3.2	Methoden der Charakterisierung und Systematik bei Prokaryonten. ....	537	17.5.1	Crenarchaeota .....	545
	Morphologisch-cytologische Merkmale. ....	537		Thermoproteales. ....	545
	Physiologische Merkmale .....	537		Desulfurococcales .....	545
	Chemotaxonomie .....	537		Sulfolobales. ....	546
	Molekularbiologische Charakterisierung .....	538	17.5.2	Euryarchaeota .....	547
	Numerische Taxonomie .....	539		Thermococcales .....	547
17.3.3	Artkonzept und Artbeschreibung bei Prokaryonten .....	539		Nanoarchaeota .....	547
				Methanopyrales .....	547
				Methanobacteriales. ....	548
				Methanococcales .....	548
				Thermoplasmatales. ....	548
				Archaeoglobales .....	548
				Methanomicrobiales .....	548
				Methanosarcinales .....	549
				Halobacteriales .....	549

17.5.3	Tief abzweigende neue Phyla: Korarchaeota und Thaumarchaeota .....	550	<b>17.16</b>	<b>Planctomycetes, Verrucomicrobia, Chlamydiae</b> .....	573
<b>17.6</b>	<b>Vorwiegend thermophile Bacteria: Aquificae, Thermotogae, Thermodesulfobacteria, Dictyoglomi</b> .....	551	17.16.1	Planctomycetes .....	573
17.6.1	Aquificae .....	551		Planctomycetaceae .....	574
17.6.2	Thermotogae .....	552		Anammoxbakterien .....	575
17.6.3	Thermodesulfobacteria .....	552	17.16.2	Verrucomicrobia .....	575
17.6.4	Dictyoglomi .....	553		Prosthekate, aerobe Formen .....	575
<b>17.7</b>	<b>Deinococcus-Thermus</b> .....	553		Kokkoide, obligat anaerobe Formen .....	576
<b>17.8</b>	<b>Chloroflexi und Armatimonadetes</b> ....	554		<b>Pelagiococcus</b> , ein Vertreter ohne Peptidoglykan .....	576
17.8.1	Chloroflexi .....	554		Epixenosomen .....	576
	Chloroflexi .....	554		„ <b>Candidatus</b> Xiphinematobacter“, ein symbiontischer Vertreter .....	576
	Thermomicrobia .....	555	17.16.3	Chlamydiae .....	576
	Anaerolineae und Caldilineae .....	555	<b>17.17</b>	<b>Chlorobi</b> .....	577
	Dehalococcoidetes .....	555	17.17.1	Chlorobiaceae .....	578
	Ktedonobacteria .....	555	17.17.2	Klasse Ignavibacteria .....	578
17.8.2	Armatimonadetes .....	555	17.17.3	„Thermochlorobacteriaceae“ .....	578
<b>17.9</b>	<b>Firmicutes und Tenericutes: grampositiv mit niedrigem GC-Gehalt</b> .....	556	<b>17.18</b>	<b>Bacteroidetes</b> .....	578
17.9.1	Firmicutes .....	556	17.18.1	Bacteroidales .....	578
	Bacilli .....	556	17.18.2	Cytophagales .....	579
	Clostridia .....	560	17.18.3	Flavobacteriales .....	580
	Negativicutes .....	562	17.18.4	Sphingobacteriales .....	580
17.9.2	Tenericutes .....	562	<b>17.19</b>	<b>Proteobacteria</b> .....	581
<b>17.10</b>	<b>Actinobacteria: grampositiv mit hohem GC-Gehalt</b> .....	563	17.19.1	Alphaproteobacteria .....	581
17.10.1	Rubrobacterales, Coriobacterales, Acidimicrobiales, Bifidobacteriales .....	563		Anoxygen phototrophe Alphaproteobacteria ..	581
17.10.2	Actinomycetales .....	564		Obligat aerobe anoxygen phototrophe Alphaproteobacteria .....	582
	<b>Streptomyces</b> .....	566		Chemolithoautotrophe Alphaproteobacteria ...	582
	Andere myzelbildende Actinomycetales .....	566		Methanotrophe und fakultativ methylotrophe Alphaproteobacteria .....	582
	Actinomycetales ohne Myzel .....	567		Symbionten der Leguminosen .....	583
<b>17.11</b>	<b>Fusobacteria</b> .....	568		Intrazelluläre human- und tierpathogene Arten. Stoffwechselphysiologisch besondere Gattungen .....	585
<b>17.12</b>	<b>Cyanobacteria – oxygen photosynthetisch, hoch divers und weit verbreitet</b> .	569	17.19.2	Betaproteobacteria .....	585
17.12.1	Phylogenie und Taxonomie .....	569		Anoxygen phototrophe Betaproteobacteria ...	585
17.12.2	Stoffwechsel und Sekundärstoffe .....	570		Chemolithoautotrophe Betaproteobacteria ...	585
<b>17.13</b>	<b>Nitrospirae</b> .....	570		Rhodocyclales .....	585
<b>17.14</b>	<b>Acidobacteria</b> .....	571		Burkholderiales .....	586
<b>17.15</b>	<b>Spirochaetae</b> .....	572		Neisseriales .....	586
			17.19.3	Gammaproteobacteria .....	587
				Anoxygen phototrophe Gammaproteobacteria.	587
				Chemolithoautotrophe schwefeloxidierende Gammaproteobacteria .....	587
				Methylococcales .....	589
				Pseudomonadales .....	589
				Xanthomonadales .....	590
				Alteromonadales .....	591

Enterobacteriales .....	591	17.19.4 Deltaproteobacteria .....	593
Legionellales .....	592	Myxococcales .....	593
Pasteurellales .....	593	Bdellovibrionales .....	594
Vibrionales .....	593	17.19.5 Epsilonproteobacteria .....	595
		Pathogene Vertreter der Epsilon-Protobacteria ..	595
<b>18 Die Rolle von Mikroorganismen im Stoffkreislauf und in der Natur .....</b>	<b>598</b>		
<i>Bernhard Schink</i>			
<b>18.1 Überblick .....</b>	<b>598</b>	<b>18.8.2 Funktionelle Differenzierung im Biofilm ..</b>	<b>610</b>
<b>18.2 Ökosystem, Standort und ökologische Nische .....</b>	<b>598</b>	<b>18.9 Kooperation zwischen Mikroorganismen .....</b>	<b>611</b>
18.2.1 Ökosystem .....	598	18.9.1 Die anaerobe Fütterungskette .....	612
18.2.2 Standort .....	598	18.9.2 Andere Typen von Symbiosen .....	612
18.2.3 Ökologische Nische .....	599	<b>18.10 Seen und Ozeane .....</b>	<b>613</b>
18.2.4 Bewohner eines Ökosystems .....	599	18.10.1 Süßgewässer .....	614
<b>18.3 Limitierung von Substraten und Energiequellen .....</b>	<b>599</b>	Seen .....	614
18.3.1 Logistisches Wachstum .....	599	Freiwasser .....	615
18.3.2 Begrenzung der Substratverfügbarkeit ..	600	Seesediment .....	616
<b>18.4 Fließsysteme, Substrataffinität und Schwellenwerte .....</b>	<b>600</b>	Lithotrophe Oxidation .....	617
<b>18.5 Hunger, Stress, Abweidung und Populationskontrolle durch Phagen ...</b>	<b>601</b>	Fließgewässer .....	618
18.5.1 Hunger .....	601	18.10.2 Ozean .....	618
18.5.2 Stress .....	602	Primärproduktion .....	618
18.5.3 Abweidung .....	602	Tiefsee .....	619
18.5.4 Phagen .....	603	Marschen .....	619
<b>18.6 Transport von Substraten und Produkten .....</b>	<b>603</b>	Marine Sedimente .....	620
18.6.1 Diffusionskontrollierte Lebensräume und Gradientenorganismen .....	605	Anaerobe Methanoxidation .....	620
<b>18.7 Methoden zur Analyse mikrobieller Populationen und ihrer Aktivitäten in der Natur .....</b>	<b>605</b>	Anaerobe Ammoniumoxidation .....	621
18.7.1 Färbetechniken und Mikroautoradiografie ..	606	<b>18.11 Boden und tiefer Untergrund .....</b>	<b>621</b>
18.7.2 Chemische Methoden .....	606	18.11.1 Boden als Standort für Mikroorganismen ..	621
18.7.3 Kultivierungsmethoden .....	606	18.11.2 Bodenbestandteile .....	621
18.7.4 Molekularbiologische Methoden .....	607	18.11.3 Mikroorganismen im Boden .....	623
18.7.5 Analyse von Organismengemeinschaften ..	609	18.11.4 Stickstoffhaushalt .....	623
<b>18.8 Oberflächenanheftung, Biofilme und interzelluläre Kommunikation .....</b>	<b>609</b>	18.11.5 Methankreislauf .....	624
18.8.1 Oberflächenanheftung .....	609	18.11.6 Schichtung des Bodens .....	624
		18.11.7 Tiefer Untergrund .....	624
		<b>18.12 Extreme Standorte und ihre Bewohner</b>	<b>624</b>
		18.12.1 Heiße Standorte und thermophile Organismen .....	625
		Extrem heiße Standorte .....	625
		18.12.2 Kalte Standorte, psychrophile Organismen und Kältekonservierung .....	627
		18.12.3 Saure und basische Standorte und daran angepasste Organismen .....	628
		18.12.4 Salzreiche Standorte und halophile Organismen .....	629

<b>18.13</b>	<b>Geomikrobiologie, Mikroorganismen als Gestalter unserer Erde</b> .....	630	<b>18.14</b>	<b>Tierische Verdauungssysteme</b> .....	631
18.13.1	Eisenablagerung .....	630	18.14.1	Ernährungs- und Verdauungstypen .....	632
18.13.2	Ablagerung von Calciumcarbonat .....	631	18.14.2	Verdauungsapparat der Wiederkäuer .....	632
18.13.3	Schwefelablagerung und andere Lagerstätten .....	631	18.14.3	Verdauungsapparat des Pferdes .....	634
18.13.4	Eliminierung von toxischen Metallen und Metalloiden .....	631	18.14.4	Verdauungsapparat von holzfressenden Termiten .....	634
<b>19</b>	<b>Mikroorganismen als Symbionten und Antagonisten</b> .....	638			
	<i>Erwin Schneider</i>				
<b>19.1</b>	<b>Symbiosen</b> .....	638		Überwindung von Abwehrmechanismen des Wirtes .....	653
<b>19.2</b>	<b>Symbiose von stickstofffixierenden Bakterien mit Pflanzen</b> .....	638		Medizinische Diagnostik .....	657
19.2.1	Wurzel- oder Stammknöllchenbakterien .....	638	19.5.2	Ausgewählte bakterielle Krankheitserreger bei Mensch und Tier .....	659
19.2.2	Andere Formen .....	641		Erkrankungen der Atemwege .....	659
<b>19.3</b>	<b>Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen mit Tieren</b> .....	642		Erkrankungen des Verdauungstraktes .....	661
<b>19.4</b>	<b>Körperflora des Menschen</b> .....	643		Erkrankungen des Urogenitaltraktes .....	666
19.4.1	Haut .....	643		Erkrankungen des Zentralnervensystems .....	667
19.4.2	Mundhöhle .....	645		Systemische Infektionen .....	668
19.4.3	Verdauungstrakt .....	645	19.5.3	Virale Krankheitserreger und Prionen .....	669
19.4.4	Atemwege .....	647	<b>19.6</b>	<b>Epidemiologie und öffentliche Gesundheit</b> .....	672
19.4.5	Urogenitalbereich .....	647	19.6.1	<b>Epidemiologische Grundbegriffe</b> .....	672
<b>19.5</b>	<b>Mikroorganismen als Auslöser von Krankheiten</b> .....	647	19.6.2	Krankenhaushygiene und nosokomiale Infektionen .....	673
19.5.1	Wirkmechanismen tier- und humanpathogener Bakterien .....	647	19.6.3	Umwelthygiene (Wasserhygiene) .....	674
	Adhäsion der Bakterien .....	649	<b>19.7</b>	<b>Pflanzenpathogene Bakterien</b> .....	674
	Invasion der Bakterien .....	649	19.7.1	Ausgewählte pflanzenpathogene Bakterien .....	674
	Kolonisation und Ausbreitung der Bakterien .....	651	19.7.2	Pflanzenabwehr gegen Mikroorganismen .....	675
	Toxine .....	651	<b>19.8</b>	<b>Biologische Waffen</b> .....	678
<b>20</b>	<b>Mikroorganismen im Dienste des Menschen: Biotechnologie</b> .....	684			
	<i>Bernhard Schink</i>				
<b>20.1</b>	<b>Überblick</b> .....	684	<b>20.4</b>	<b>Essigsäure</b> .....	687
<b>20.2</b>	<b>Die Bakterienzelle als Produzent</b> .....	684	20.4.1	Unvollständige Oxidationen .....	687
<b>20.3</b>	<b>Technische Abläufe in der klassischen Biotechnologie</b> .....	685	20.4.2	StoffwechsellLeistungen von Essigsäurebakterien .....	687
			20.4.3	Biochemie der Essigsäurebildung .....	688

<b>20.5</b>	<b>Produktion organischer Säuren durch Pilze und Bakterien</b> .....	688	<b>20.13</b>	<b>Gentechnische Verfahren</b> .....	703
20.5.1	Physiologie und Biotechnologie .....	689	20.13.1	Klassische Verfahren versus Gentechnik ..	703
	Synthese von Zitronensäure .....	689	20.13.2	Überblick über Prozesse .....	703
	Optimierung der Ausbeute an Zitronensäure ..	690	20.13.3	Produktionsstämme .....	703
20.5.2	Biochemie der Säurebildung durch Pilze ..	690	20.13.4	Vektoren .....	704
20.5.3	Produktion organischer Säuren durch Bakterien .....	692	20.13.5	Exoenzyme .....	704
<b>20.6</b>	<b>Aminosäuren</b> .....	692	20.13.6	Einschlusskörper .....	704
<b>20.7</b>	<b>Stoffumwandlungen</b> .....	693	<b>20.14</b>	<b>Produktion von Biomasse</b> .....	704
<b>20.8</b>	<b>Antibiotika</b> .....	694	<b>20.15</b>	<b>Umwelttechnologie</b> .....	705
20.8.1	Antibiotikabildende Mikroorganismen ...	695	20.15.1	Abwasserreinigung .....	705
20.8.2	Nachweis der Synthese von Antibiotika ...	695		Abwasserreinigung im Belebtschlammverfahren	705
20.8.3	Therapeutisch wichtige Antibiotika .....	697		Entfernung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen .....	708
	Penicilline .....	697		Primär anaerobe Abwasserbehandlung .....	708
	Cephalosporine .....	697	20.15.2	Kompostierung .....	709
	Streptomycin .....	697	20.15.3	Trinkwasserbehandlung .....	709
	Chloramphenicol .....	697	20.15.4	Abluftreinigung .....	709
	Tetracycline .....	698	20.15.5	Bodensanierung .....	710
	Makrolide .....	698	<b>20.16</b>	<b>Metalllaugung und Renaturierung im Tagebau</b> .....	710
	Polypeptidantibiotika .....	698	<b>20.17</b>	<b>Energieversorgung</b> .....	711
20.8.4	Mykotoxine .....	699	<b>20.18</b>	<b>Biosensoren</b> .....	712
<b>20.9</b>	<b>Vitamine</b> .....	700	<b>20.19</b>	<b>Mikrobiologische Prozesskontrolle</b> ...	712
<b>20.10</b>	<b>Exopolysaccharide und Tenside</b> .....	701	<b>20.20</b>	<b>Mikrobielle Schädlingsbekämpfung</b> ...	713
<b>20.11</b>	<b>Enzyme</b> .....	701			
<b>20.12</b>	<b>Polyhydroxyalkanoate</b> .....	702			
	<b>Anhang</b> .....				716
	<b>Sachverzeichnis</b> .....				728