Inhaltsverzeichnis

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

2.4.3	Ausgewählte Beispiele prokaryontischer Organismen aus dem „natürlichen“ System.....	64					
2.4.4	Bacteria.....	65					
	Proteobakterien (= Purpurbakterien).....	65					
	Grampositive Bakterien.....	66					
	Cyanobakterien.....	67					
	<i>Chlamydia</i>	67	2.4.5	Archaea.....	69		
	<i>Planctomyces</i>	67		Euryarchaeota.....	69		
	<i>Bacteroides</i>	67		Crenarchaeota.....	69		
				Grüne Schwefelbakterien.....	68		
				Spirochäten.....	68		
				<i>Deinococcus</i>	68		
				Grüne Nicht-Schwefelbakterien (Grüne schwefelfreie Bakterien.....	69		
				<i>Thermotoga</i>	69		
				<i>Aquifex</i>	69		
3	Pilze						72
	<i>Erika Kothe</i>						
3.1	Überblick	72	3.7	Saprophytisches Wachstum			84
3.2	Vorkommen der Pilze	72	3.7.1	Schimmelpilze.....			84
3.3	Die pilzliche Zelle	72	3.7.2	Weißfäule und Braunfäule.....			84
3.3.1	Aufbau der pilzlichen Zelle.....	72	3.8	Interaktionen mit Pflanzen – von Phytopathogenen zu Symbionten			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
3.4	Einteilung der Pilze	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	3.9	Tier- und humanpathogene Pilze			91
3.4.5	Die Chytridien.....	78	3.9.1	Mykosen.....			91
3.5	Asexuelle Vermehrung	78	3.9.2	Insektenpathogene.....			93
3.5.1	Mitose und Zellzyklus.....	78	3.10	Pilzgenetik			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	3.11	Pilze in der Biotechnologie und Produktion			98
3.6	Sexuelle Vermehrung	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	3.12	Vielfalt pilzlicher Lebensformen			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			
4	Viren	112			
	<i>Börries Kemper</i>				
4.1	Überblick	112		Doppelsträngige DNA-Viren der Bakterien	125
4.2	Vorkommen und Entdeckung	112	4.8.2	Doppelsträngige DNA-Viren der Eukaryonten	127
4.3	Der technische Umgang mit Viren	115	4.8.3	Partiell doppelsträngige DNA-Viren	129
4.4	Entwicklung	116		Einzelsträngige DNA-Viren (Klasse-II-Viren)	130
4.4.1	Vermehrung von Phagen	117		Einzelsträngige DNA-Viren der Prokaryonten	130
4.4.2	Vermehrung der Viren von Eukaryonten	118	4.8.4	Einzelsträngige DNA-Viren der Eukaryonten	131
4.4.3	Lytischer und lysogener Zyklus	118		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		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
4.5	Aufbau	121	4.8.6	Doppelsträngige RNA-Viren (Klasse-III-Viren)	137
4.6	Mechanismen der Verbreitung	123		Doppelsträngige RNA-Viren der Prokaryonten	137
4.7	Klassifizierung der Viren	124		Doppelsträngige RNA-Viren der Eukaryonten	137
4.8	Beispiele	124		Doppelsträngige RNA-Viren der Hefe <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	137
4.8.1	Doppelsträngige DNA-Viren (Klasse-I-Viren)	125	4.9	Viroide	138
5	Die Besonderheiten prokaryontischer Zellen	142			
	<i>Erwin Schneider</i>				
5.1	Überblick	142	5.5	Zellwand	147
5.2	Abbildung von Mikroorganismen	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	5.6	Kapseln und Schleime	149
5.3	Chromosom und Plasmide	145	5.7	Zellmembranen	150
5.4	Ribosomen	146	5.7.1	Cytoplasmamembran	150
			5.7.2	Die äußere Membran gramnegativer Bakterien	152

5.8	Das prokaryontische Cytoskelett	155	5.11	Zellanhänge	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
5.9	Organellähnliche Kompartimente	159	5.12	Spezielle Zelldifferenzierung	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
5.10	Speicherstoffe	162	5.13	Prokaryontische und eukaryontische Zellen im Vergleich	173
5.10.1	Polysaccharide	162	5.14	Angriffsorte und Wirkungsweise wichtiger Antibiotika	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			
6	Prokaryontische Genetik und Molekularbiologie	178			
	<i>Thomas Eitinger</i>				
6.1	Einführung	178	6.6	Mobile genetische Elemente	191
6.2	Organisation prokaryontischer DNA	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	6.7	Mechanismen der Genübertragung	194
6.3	Weitergabe genetischer Information: DNA-Replikation	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
6.4	Mutationen und DNA-Reparatur	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	6.8	Restriktion, Modifikation und pro- karyontische Immunsysteme	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
6.5	Genetische Rekombination	190	6.8.4	Typ-IV-Restriktionsendonukleasen	203
6.5.1	Homologe Rekombination	190	6.8.5	Immunsystem in Eubakterien und Archae- bakterien	203
6.5.2	Nichthomologe Rekombination	191			

6.9	Expression genetischer Information: Transkription und Translation	203	6.10	DNA-Klonierung	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	6.11	DNA-Sequenzierung und Genomsequenzen	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	6.12	Postgenomik, Metagenomik und synthetische Biologie	221
	Co- und posttranslationale Modifikationen	209			
	Archaeobakterielle Translation	210			
7	Wachstum und Ernährung der Mikroorganismen	228			
	<i>Bernhard Schink</i>				
7.1	Überblick	228		Komplexe oder undefinierte Nährböden	233
7.2	Chemische Zusammensetzung der Zelle und Nahrungsbedarf	228	7.6.2	Feste Nährböden	233
7.2.1	Elementare Nährstoffansprüche	228		Kultivierungstechniken	233
7.2.2	Ergänzungstoffe	229		Kohlendioxidversorgung	233
7.3	Ernährungstypen und Lebensstrategien	229		Belüftung	233
7.3.1	Energiequellen	229		Anaerobenkultur	234
7.3.2	Elektronendonatoren und Kohlenstoffquellen	229	7.7	Selektive Kulturmethode n	235
7.4	Substrate für Mikroorganismen	230	7.7.1	Anreicherungskultur	235
7.4.1	Kohlenstoffquellen	230	7.7.2	Reinkultur	237
7.4.2	Schwefel und Stickstoff	230	7.7.3	Mischkultur	237
7.4.3	Phosphor	230	7.8	Wachstum und Zellteilung	238
7.4.4	Sauerstoff	230	7.8.1	Methoden zur Bestimmung der Zellzahl und der Bakterienmasse	238
7.5	Anpassung an unterschiedliche Umweltbedingungen	231		Bestimmung der Zellzahl	238
7.5.1	Temperatur	231		Bestimmung der Zellmasse	239
7.5.2	Wasserstoffionenkonzentration	231	7.8.2	Kinetik des Wachstums	239
7.5.3	Wassergehalt und osmotischer Wert	232	7.9	Physiologie des Wachstums	240
7.6	Zusammensetzung von Nährmedien und Kultivierungstechniken	232	7.9.1	Bakterienwachstum in statischer Kultur ..	241
7.6.1	Nährböden	233	7.9.2	Parameter der Wachstumskurve	242
			7.9.3	Lineares Wachstum	243
			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

7.10	Hemmung des Wachstums und Abtötung	246	7.12	Konservierungsverfahren	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	7.13	Kulturerhaltung	252
7.10.4	Absterben und Abtötung von Mikroorganismen	248	7.13.1	Dauerkulturen	252
7.11	Sterilisation und Desinfektion	248	7.13.2	Lebendkulturen	253
7.11.1	Feuchte Hitze	248	7.14	Mikrobiologische Diagnostik	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			
8	Zentrale Stoffwechselwege	258			
	<i>Georg Fuchs</i>				
8.1	Überblick	258	8.8	Elektronentransportphosphorylierung der Atmungskette	274
8.2	Grundmechanismen des Stoffwechsels und der Energieumwandlung	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
8.3	Allgemeines Prinzip des Stoffwechsels	263		Cytochrome	276
8.4	Umwandlung von Energie	264	8.8.3	Atmungskette bei der Veratmung von Sauerstoff	278
8.4.1	ATP und andere energiereiche Verbindungen	264		Oxidasepositive Bakterien	279
8.4.2	Regeneration von ATP	265		Oxidasenegative Bakterien und verzweigte Atmungsketten	280
8.5	Wege des Hexoseabbaus	265	8.8.4	Elektronentransportphosphorylierung ...	281
8.5.1	Glykolyse	265		Elektrochemisches Potenzial	281
8.5.2	Pentosephosphatweg und oxidativer Pentosephosphatzyklus	267		ATP-Synthese	282
8.5.3	KDPG-(2-Keto-3-desoxy-6-phosphogluconat-)Weg	269	8.8.5	Rückläufiger Elektronentransport	284
8.5.4	Wege des Zuckerstoffwechsels in Archaea	269	8.8.6	Elektronentransportprozesse bei anaeroben Bakterien	285
8.5.5	Energiebilanzen und Verbreitung der Zuckerabbauwege	270	8.9	Eigenschaften und Funktionen von Sauerstoff	285
8.6	Oxidation von Pyruvat	271	8.9.1	Regulation durch Sauerstoff	285
8.7	Citratzyklus und alternative Wege	272	8.9.2	Toxische Wirkung des Sauerstoffs und Entgiftungsreaktionen	285
			8.9.3	Sauerstoff als Cosubstrat	286
			8.9.4	Sauerstoff und Biolumineszenz	286

8.10	Verbindung zwischen Energiestoffwechsel und Biosynthese	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
9	Biosynthesen				294
	<i>Georg Fuchs</i>				
9.1	Überblick	294			
9.2	Organisation der „Zellfabrik“	294			
9.3	Syntheseleistung der Zelle	296			
9.4	Metabolite und ihre Konzentrationen in der Zelle	296			
9.5	Makromoleküle und ihre Bausteine ...	297			
9.6	Assimilation der Elemente N, S, P und der Spurenelemente	298			
9.6.1	Stickstoff	298			
	Ammoniak bzw. Nitrat als N-Quelle	298			
	Molekularer Stickstoff als N-Quelle	299			
9.6.2	Schwefel	302			
	Sulfat als S-Quelle	302			
	Fixierung und Übertragung von Schwefelwasserstoff	303			
9.6.3	Phosphor	303			
9.6.4	Spurenelemente	304			
9.7	Bereitstellung von C₁-Einheiten, Energie, Reduktions- und Oxidationsmitteln	306			
9.7.1	C ₁ -Einheiten	306			
9.7.2	Energie	307			
9.7.3	Reduktions- und Oxidationsmittel	308			
9.8	Synthese von Zellmaterial aus CO₂	308			
9.8.1	Calvin-Benson-Zyklus	310			
			9.8.2	Alternative Wege der CO ₂ -Fixierung	312
				Reduktiver Acetyl-CoA-Weg	312
				Reduktiver Citratzyklus	312
				Besondere Wege der CO ₂ -Fixierung	313
			9.8.3	Ökologische, ökonomische und evolutionäre Aspekte	313
			9.8.4	Synthese von Zellmaterial aus Formaldehyd	314
				Hexulosephosphatzyklus	314
				Serinweg	316
				Dihydroxyacetonzyklus	316
				Anaerober Weg	316
			9.9	Biosynthesen der Bausteine	316
			9.9.1	Aminosäuren	316
			9.9.2	Zucker	318
			9.9.3	Nukleotide und Desoxynukleotide	319
			9.9.4	Lipide	320
			9.9.5	Speicherstoffe	323
			9.10	Sekundärmetabolite	325
			9.10.1	Funktion von Sekundärmetaboliten	325
			9.10.2	Beispiele für Sekundärmetabolite	326
			9.11	Synthesen von komplexen Zellstrukturen	327
			9.11.1	Synthese von Zellwandkomponenten an der Membran	327
			9.11.2	Zusammenbau komplexer Strukturen	329
10	Transport durch die Cytoplasmamembran				334
	<i>Erwin Schneider</i>				
10.1	Überblick	334			
10.2	Grundlagen des Transports	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

10.3	Transportmechanismen und Transportsysteme	335	10.4.3	Transportsysteme als Mediatoren der Differenzierung	343
10.3.1	Primäre Transportsysteme	337	10.5	Resistenz durch proteinvermittelten Export	343
	ABC-Transporter	337			
	Na ⁺ -abhängige Decarboxylasen	338	10.6	Translokationssysteme für den Proteinexport	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
10.4	Weitere Aspekte der Transportsysteme	341	10.6.3	Spezielle Sekretionssysteme	348
				Sec-abhängige Systeme	348
10.4.1	Beteiligung von Transportsystemen an der Gen- und Proteinregulation	341		Sec-unabhängige Systeme	348
10.4.2	Transportsysteme als chemotaktische Rezeptoren	343	10.7	Aufnahme von DNA	350
11	Abbau organischer Verbindungen	354			
	<i>Georg Fuchs</i>				
11.1	Überblick	354	11.6.1	Proteine	364
11.2	Aerobe und anaerobe Mineralisierung	354	11.6.2	Nukleinsäuren	365
			11.6.3	Lipide	366
11.2.1	Aerobe Mineralisierung	354	11.7	Abbau niedermolekularer Substanzen	367
11.2.2	Anaerobe Mineralisierung	355			
11.3	Gemeinsame Aspekte des Polymerabbaus	355	11.7.1	Zucker	368
11.4	Abbau von Polysacchariden	356	11.7.2	Aminosäuren	370
			11.7.3	Aromatische Verbindungen	372
11.4.1	Cellulose	357		Aerober Abbau von Aromaten	372
11.4.2	Hemicellulosen	357		Anaerober Abbau von Aromaten	374
11.4.3	Pectine	358	11.7.4	Kohlenwasserstoffe	376
11.4.4	Andere Polysaccharide	359		Aerober Abbau von Kohlenwasserstoffen	376
11.4.5	Chitin und Murein	359		Anaerober Abbau von Kohlenwasserstoffen	379
11.4.6	Stärke	360	11.7.5	Fettsäuren	379
11.4.7	Fructane	361	11.7.6	Purine, Pyrimidine und andere heterozyklische Verbindungen	382
11.5	Abbau von Lignin	362	11.8	Abbau und Cometabolismus von Xenobiotika	382
11.6	Abbau von Proteinen, Nukleinsäuren und Lipiden	364	11.9	Unvollständige Oxidationen	384
12	Oxidation anorganischer Verbindungen: chemolithotrophe Lebensweise	388			
	<i>Johann Heider</i>				
12.1	Überblick	388	12.2.1	Art und Herkunft der Substrate	388
12.2	Habitate und Lebensweise von chemolithotrophen Bakterien	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
12.3	Prinzipien der Lithotrophie	392		Schwefelstoffwechsel in neutrophilen Bakterien	401
12.3.1	Stoffwechselprinzip	392	12.5.2	Schwefelwasserstoffoxidierende Symbion- ten	402
12.3.2	Rückläufiger Elektronentransport	393	12.6	Reduzierte Metallionen als Elektronen- donatoren	403
12.4	Reduzierte Stickstoffverbindungen als Elektronendonatoren	393	12.6.1	Biochemie der Oxidation von Metallionen	405
12.4.1	Ammonium- und nitritoxidierende Nitrifi- kanten.	394	12.6.2	Erzlagung	405
12.4.2	Biochemie der Ammoniumoxidation.	395	12.7	Wasserstoff als Elektronendonator.	405
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
12.5	Reduzierte Schwefelverbindungen als Elektronendonatoren	397	12.8	Kohlenmonoxid als Elektronendonator	407
13	Mikrobielle Gärungen.	410			
	<i>Johann Heider</i>				
13.1	Überblick.	410	13.4	Ethanolgärung	421
13.2	Prinzipien der Gärung	410	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 ⁺ -Pumpen.	414		Ethanol	424
13.2.7	Wasserstoff als Gärungsprodukt.	414	13.5	Gemischte Säuregärung	425
13.2.8	Biotechnologische Bedeutung von Gärungen	415	13.5.1	Biochemie der gemischten Säuregärung . .	426
13.3	Milchsäuregärung	415		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	13.6	Buttersäure- und Lösungsmittelgärung	429
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	13.7	Propionsäuregärung	431
	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 Propionsäuregärung	431			
	Methylmalonyl-CoA-Weg	431			
	Acrylyl-CoA-Weg	432			
13.8	Vergärung von Aminosäuren	433			
13.8.1	Stickland-Gärung	433			
13.8.2	Vergärung von Glutamat	434			
14	Anaerobe Atmung	442			
	<i>Johann Heider</i>				
14.1	Überblick	442	14.7	Schwefel als Elektronenakzeptor	454
14.2	Energetisches Prinzip	442	14.7.1	Polysulfidatmung in <i>Wolinella succinogenes</i>	454
14.3	Nitrat, Nitrit, N₂O als Elektronenakzeptoren	444	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	14.8	Methanogenese: CO₂ als Elektronenakzeptor	456
	Reduktion von Nitrit zu molekularem Stickstoff	445	14.8.1	Methanogene Organismen	456
14.3.2	Nitratammonifikation	446		Eigenschaften	456
14.3.3	Anammoxreaktion	446		Ökologie	457
14.4	Fumarat als Elektronenakzeptor	447	14.8.2	Methanbildung aus H ₂ und CO ₂	458
14.5	Oxidierter Metallionen als Elektronenakzeptoren	448	14.8.3	Methanbildung aus Acetat	459
14.6	Sulfat als Elektronenakzeptor	449	14.9	Acetogenese: CO₂ als Elektronenakzeptor	461
14.6.1	Biochemie der Sulfatreduktion	451	14.9.1	Biochemie der Acetogenese	461
14.6.2	Energetik der Sulfatatmung	452	14.10	Reduktion weiterer Elektronenakzeptoren	463
14.6.3	Unterschiede zwischen assimilatorischer und dissimilatorischer Sulfatreduktion	452	14.10.1	Sulfoxide und Aminoxide	463
14.6.4	Rolle der sulfatreduzierenden Mikroorganismen im Naturhaushalt	453	14.10.2	Anorganische Oxyanionen	463
			14.10.3	Chlororganische Verbindungen	464
15	Phototrophe Lebensweise	466			
	<i>Georg Fuchs</i>		15.3	Oxygene phototrophe Bakterien (Cyanobakterien)	468
15.1	Überblick	466	15.3.1	Vorkommen und Rolle von Cyanobakterien	468
15.2	Bedeutung und Prinzipien der Photosynthese	466	15.3.2	Stoffwechsel und Zellstruktur	469
15.2.1	Licht als Energiequelle und phototrophes Wachstum	466	15.3.3	Morphologische Gruppen	470
15.2.2	Prinzipien der Photosynthese	467	15.3.4	Zelldifferenzierungen	472

15.4	Anoxygene phototrophe Bakterien	472	15.7	Oxygene Photosynthese	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>b₆f</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
15.5	Photosynthetische Pigmente und Thylakoide	478	15.8	Anoxygene Photosynthese	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	15.9	Bakteriorhodopsin- und proteorhodopsinabhängige Photosynthese	491
	Phycobiline	482			
15.5.3	Thylakoide	482			
15.6	Antennenkomplexe	482			
15.6.1	LH I und LH II	483			
15.6.2	Chlorosomen	483			
15.6.3	Phycobilisomen	483			
16	Regulation des Stoffwechsels und des Zellaufbaus von Bakterien	494			
	<i>Gottfried Uden</i>				
16.1	Überblick	494	16.3.6	Kontrolle durch regulatorische RNA und Attenuation	500
16.2	Aufrechterhaltung des Zellmilieus und Antwort auf Änderungen	494		<i>Trans</i> -codierte sRNA	500
16.3	Mechanismen zur Anpassung und Änderung des Zellaufbaus	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	16.4	Reizaufnahme und Reizverarbeitung	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 σ -Faktoren	499	16.5	Regulation von Katabolismus und Energiestoffwechsel	506
16.3.5	Funktionskontrolle durch Synthese und Proteolyse	499			

16.5.1	Übergeordnete Regulation des Kohlenstoffkatabolismus	507	16.8	Spezifische Stressreaktionen	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
				Regulation der Hitzeschockantwort	519
16.6	Regulation der Stickstoffassimilierung	512		Kälteschock	519
16.7	Stringente Kontrolle und generelle Stressantwort	514	16.8.3	Hüllstress und Reizerkennung durch ECF-o-Faktoren	520
16.7.1	Stringente Kontrolle und Kopplung von Anabolismus und Katabolismus	514	16.8.4	Osmoregulation	520
16.7.2	Generelle Stressantwort und Regulation der stationären Phase in <i>E. coli</i>	515	16.9	Interzelluläre Kommunikation und Zelldichteregulation (Quorum Sensing)	521
	Regulation durch den alternativen o-Faktor σ^S in <i>E. coli</i>	515	16.10	Chemotaxis	523
	Regulation durch den alternativen o-Faktor σ^B in <i>Bacillus</i>	516	16.11	Differenzierung bei Bakterien	524
16.7.3	Toxin-Antitoxin-Systeme und bakterielle Persistenz	516	16.11.1	Endosporenbildung bei <i>B. subtilis</i>	525
			16.11.2	Lebenszyklus von <i>Caulobacter crescentus</i>	527
			16.11.3	Fruchtkörperbildende Myxobakterien	528
17	Mikrobielle Vielfalt, Evolution und Systematik	532			
	<i>Jörg Overmann</i>				
17.1	Überblick	532	17.4	Evolutionäre Grundlagen der prokaryontischen Vielfalt	541
17.2	Diversität	532	17.4.1	Mechanismen prokaryontischer Evolution und Relevanz für die Systematik	541
17.2.1	Diversitätsbegriff und Definition	532		Mutation	541
17.2.2	Quantifizierung und Umfang mikrobieller Diversität	532		Rekombination	541
	Beobachtungseinheit der mikrobiellen Diversitätsforschung	532		Selektion	542
	Umfang bakterieller Diversität	534		Migration	543
17.2.3	Relevanz der mikrobiellen Diversitätsforschung	534	17.4.2	Populationsgenetische Evolutionsmodelle	543
17.3	Systematik der Prokaryonten	535	17.5	Archaea – extremophile lebende Fossilien?	543
17.3.1	Bestandteile der Systematik: Charakterisierung, Taxonomie, und Phylogenie	535	17.5.1	Crenarchaeota	545
17.3.2	Methoden der Charakterisierung und Systematik bei Prokaryonten	537		Thermoproteales	545
	Morphologisch-cytologische Merkmale	537		Desulfurococcales	545
	Physiologische Merkmale	537		Sulfolobales	546
	Chemotaxonomie	537	17.5.2	Euryarchaeota	547
	Molekularbiologische Charakterisierung	538		Thermococcales	547
	Numerische Taxonomie	539		Nanoarchaeota	547
17.3.3	Artkonzept und Artbeschreibung bei Prokaryonten	539		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	17.16	Planctomycetes, Verrucomicrobia, Chlamydiae	573
17.6	Vorwiegend thermophile Bacteria: Aquificae, Thermotogae, Thermodesulfobacteria, Dictyoglomi	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
17.7	Deinococcus-Thermus	553		Kokkoide, obligat anaerobe Formen	576
17.8	Chloroflexi und Armatimonadetes	554		Pelagiococcus , ein Vertreter ohne Peptidoglykan	576
17.8.1	Chloroflexi	554		Epixenosomen	576
	Chloroflexi	554	17.16.3	„ <i>Candidatus</i> Xiphinematobacter“, ein symbiontischer Vertreter	576
	Thermomicrobia	555	17.17	Chlamydiae	576
	Anaerolineae und Caldilineae	555	17.17.1	Chlorobi	577
	Dehalococcoidetes	555		Chlorobiaceae	578
	Ktedonobacteria	555	17.17.2	Klasse Ignavibacteria	578
17.8.2	Armatimonadetes	555	17.17.3	„Thermochlorobacteriaceae“	578
17.9	Firmicutes und Tenericutes: grampositiv mit niedrigem GC-Gehalt	556	17.18	Bacteroidetes	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	17.19	Proteobacteria	581
17.10	Actinobacteria: grampositiv mit hohem GC-Gehalt	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
	<i>Streptomyces</i>	566		Chemolithoautotrophe Alphaproteobacteria ..	582
	Andere myzelbildende Actinomycetales	566		Methanotrophe und fakultativ methylo-trophe Alphaproteobacteria	582
	Actinomycetales ohne Myzel	567		Symbionten der Leguminosen	583
17.11	Fusobacteria	568		Intrazelluläre human- und tierpathogene Arten. Stoffwechselphysiologisch besondere Gattungen	584
17.12	Cyanobacteria – oxygen photosynthetisch, hoch divers und weit verbreitet .	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
17.13	Nitrospirae	570		Rhodocyclales	585
17.14	Acidobacteria	571		Burkholderiales	586
17.15	Spirochaetae	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
18 Die Rolle von Mikroorganismen im Stoffkreislauf und in der Natur.....	598		
<i>Bernhard Schink</i>			
18.1 Überblick	598	18.8.2 Funktionelle Differenzierung im Biofilm..	610
18.2 Ökosystem, Standort und ökologische Nische.....	598	18.9 Kooperation zwischen Mikroorganismen.....	611
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	18.10 Seen und Ozeane	613
18.2.4 Bewohner eines Ökosystems	599	18.10.1 Süßgewässer	614
18.3 Limitierung von Substraten und Energiequellen	599	Seen	614
18.3.1 Logistisches Wachstum	599	Freiwasser	615
18.3.2 Begrenzung der Substratverfügbarkeit ...	600	Seesediment	616
18.4 Fließsysteme, Substrataffinität und Schwellenwerte	600	Lithotrophe Oxidation	617
18.5 Hunger, Stress, Abweidung und Populationskontrolle durch Phagen ...	601	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
18.6 Transport von Substraten und Produkten.....	603	Marschen	619
18.6.1 Diffusionskontrollierte Lebensräume und Gradientenorganismen.....	605	Marine Sedimente	620
18.7 Methoden zur Analyse mikrobieller Populationen und ihrer Aktivitäten in der Natur.....	605	Anaerobe Methanoxidation	620
18.7.1 Färbetechniken und Mikroautoradiografie	606	Anaerobe Ammoniumoxidation	621
18.7.2 Chemische Methoden.....	606	18.11 Boden und tiefer Untergrund	621
18.7.3 Kultivierungsmethoden	606	18.11.1 Boden als Standort für Mikroorganismen ..	621
18.7.4 Molekularbiologische Methoden	607	18.11.2 Bodenbestandteile	621
18.7.5 Analyse von Organismengemeinschaften ..	609	18.11.3 Mikroorganismen im Boden	623
18.8 Oberflächenanheftung, Biofilme und interzelluläre Kommunikation	609	18.11.4 Stickstoffhaushalt	623
18.8.1 Oberflächenanheftung	609	18.11.5 Methankreislauf	624
		18.11.6 Schichtung des Bodens.....	624
		18.11.7 Tiefer Untergrund	624
		18.12 Extreme Standorte und ihre Bewohner	624
		18.12.1 Heiße Standorte und thermophile Organismen	625
		Extrem heiße Standorte	625
		18.12.2 Kalte Standorte, psychrophile Organismen und Kältekonserverung.....	627
		18.12.3 Saure und basische Standorte und daran angepasste Organismen	628
		18.12.4 Salzreiche Standorte und halophile Organismen	629

18.13	Geomikrobiologie, Mikroorganismen als Gestalter unserer Erde	630	18.14	Tierische Verdauungssysteme	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
19	Mikroorganismen als Symbionten und Antagonisten	638			
	<i>Erwin Schneider</i>				
19.1	Symbiosen	638		Überwindung von Abwehrmechanismen des Wirtes.	653
19.2	Symbiose von stickstofffixierenden Bakterien mit Pflanzen	638	19.5.2	Medizinische Diagnostik	657
19.2.1	Wurzel- oder Stammknöllchenbakterien .	638		Ausgewählte bakterielle Krankheitserreger bei Mensch und Tier	659
19.2.2	Andere Formen	641		Erkrankungen der Atemwege	659
19.3	Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen mit Tieren	642		Erkrankungen des Verdauungstraktes	661
19.4	Körperflora des Menschen	643		Erkrankungen des Urogenitaltraktes	666
19.4.1	Haut	643		Erkrankungen des Zentralnervensystems	667
19.4.2	Mundhöhle	645	19.5.3	Systemische Infektionen	668
19.4.3	Verdauungstrakt	645		Virale Krankheitserreger und Prionen	669
19.4.4	Atemwege	647	19.6	Epidemiologie und öffentliche Gesundheit	672
19.4.5	Urogenitalbereich	647	19.6.1	Epidemiologische Grundbegriffe	672
19.5	Mikroorganismen als Auslöser von Krankheiten	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	19.7	Pflanzenpathogene Bakterien	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	19.8	Biologische Waffen	678
20	Mikroorganismen im Dienste des Menschen: Biotechnologie	684			
	<i>Bernhard Schink</i>				
20.1	Überblick	684	20.4	Essigsäure	687
20.2	Die Bakterienzelle als Produzent	684	20.4.1	Unvollständige Oxidationen	687
20.3	Technische Abläufe in der klassischen Biotechnologie	685	20.4.2	StoffwechsellLeistungen von Essigsäurebakterien	687
			20.4.3	Biochemie der Essigsäurebildung	688