

Allgemeine Mikrobiologie

Herausgegeben von
Georg Fuchs

Begründet von
Hans-Günter Schlegel

Mit Beiträgen von

Thomas Eitinger

Georg Fuchs

Johann Heider

Börries Kemper

Erika Kothe

Jörg Overmann

Bernhard Schink

Erwin Schneider

Gottfried Unden

10., unveränderte Auflage

750 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

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 | 1.7.1 | Kreislauf des Kohlenstoffs |
| 1.3.3 | Protisten | 29 | | Mineralisierung des Kohlenstoffs |
| 1.4 | Von den zwei Reichen der Prokaryon- ten und Eukaryonten zu den drei neuen Reichen | 29 | | Kohlendioxidfixierung |
| 1.4.1 | Die zwei Reiche: Prokaryonten und Eukaryonten | 29 | 1.7.2 | Kreislauf des Stickstoffs |
| 1.4.2 | Die drei neuen Reiche: Archaea, Bacteria und Eukarya | 30 | 1.7.3 | Kreislauf des Phosphors |
| 1.5 | Evolution der Organismen und phylo- genetischer Stammbaum | 31 | 1.7.4 | Kreislauf des Schwefels |
| 1.6 | Allgemeine Eigenschaften der Mikro- organismen | 34 | 1.7.5 | Mikroorganismen und ihre Fressfeinde .. |
| 1.6.1 | Das erfolgreiche Prinzip Kleinheit und große Zahl | 34 | 1.8 | Mikroorganismen als Symbionten |
| 1.6.2 | Größeneinheit Mikrometer, die Elle des Mikrobiologen | 34 | 1.9 | Mikroorganismen im Dienste des Menschen |
| 1.6.3 | Große Oberfläche/Volumen-Verhältnis und seine Folgen | 34 | 1.9.1 | Klassische mikrobielle Verfahren |
| 1.6.4 | Stoffwechselvielfalt und individuelle Anpassungsfähigkeit | 35 | 1.9.2 | Neue mikrobielle Verfahren |
| | Stoffwechselvielfalt | 35 | 1.9.3 | Mikroorganismen und Gentechnologie .. |
| | Individuelle Anpassungsfähigkeit | 36 | 1.9.4 | Mikroorganismen in Umweltprozessen .. |
| | | | 1.9.5 | Monopolstellung der Mikroorganismen .. |
| 2 | Die Prokaryonta und die prokaryontische Zelle | 50 | 1.10 | Mikroorganismen als Gesundmacher – der Mensch als besiedelter Raum |
| | <i>Erwin Schneider</i> | | 1.11 | Mikroorganismen als Krankheits- erreger |
| 2.1 | Überblick | 50 | 2.4 | Die Prokaryontenzelle – Zellform, Grö- ße und chemische Zusammensetzung .. |
| 2.2 | Prokaryonten versus Eukaryonten | 50 | 2.4.1 | Morphologische Merkmale |
| 2.2.1 | Struktur des Genoms | 50 | 2.4.2 | Stoffliche Zusammensetzung |
| 2.2.2 | Struktur der Zelle | 51 | | Proteine |
| 2.3 | Archaea versus Bacteria | 54 | | 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 | Deinococcus | 68 |
| | Grampositive Bakterien | 66 | Grüne Nicht-Schwefelbakterien (Grüne schwefelfreie Bakterien) | 69 |
| | Cyanobakterien | 67 | Thermotoga | 69 |
| | Chlamydia | 67 | Aquifex | 69 |
| | Planctomyces | 67 | 2.4.5 Archaea | 69 |
| | Bacteroides | 67 | Euryarchaeota | 69 |
| | | | Crenarchaeota | 69 |
| 3 | Pilze | | | |
| | <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 | 4.8.5 | Die plus-Strang-RNA-Viren der Eukaryonten | 133 |
| 4.4.4 | Regulation von Infektionsabläufen | 119 | | 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 Genom- sequenzen | 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 | | Feste Nährböden | 233 |
| 7.2.1 | Elementare Nährstoffansprüche | 228 | 7.6.2 | Kultivierungstechniken | 233 |
| 7.2.2 | Ergänzungstoffe | 229 | | Kohlendioxidversorgung | 233 |
| 7.3 | Ernährungstypen und Lebens- strategien | 229 | | Belüftung | 233 |
| 7.3.1 | Energiequellen | 229 | | Anaerobenkultur | 234 |
| 7.3.2 | Elektronendonatoren und Kohlenstoff- quellen | 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 |
| | | | | Cytochrome | 276 |
| 8.3 | Allgemeines Prinzip des Stoffwechsels | 263 | 8.8.3 | Atmungskette bei der Veratmung von Sauerstoff | 278 |
| 8.4 | Umwandlung von Energie | 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 |
| | | | | Elektrochemisches Potenzial | 281 |
| 8.5 | Wege des Hexoseabbaus | 265 | | ATP-Synthese | 282 |
| 8.5.1 | Glykolyse | 265 | 8.8.5 | Rückläufiger Elektronentransport | 284 |
| 8.5.2 | Pentosephosphatweg und oxidativer Pentosephosphatzyklus | 267 | 8.8.6 | Elektronentransportprozesse bei anaeroben Bakterien | 285 |
| 8.5.3 | KDPG-(2-Keto-3-desoxy-6-phosphogluconat-)Weg | 269 | 8.9 | Eigenschaften und Funktionen von Sauerstoff | 285 |
| 8.5.4 | Wege des Zuckerstoffwechsels in Archaea | 269 | 8.9.1 | Regulation durch Sauerstoff | 285 |
| 8.5.5 | Energiebilanzen und Verbreitung der Zuckerabbauwege | 270 | 8.9.2 | Toxische Wirkung des Sauerstoffs und Entgiftungsreaktionen | 285 |
| 8.6 | Oxidation von Pyruvat | 271 | 8.9.3 | Sauerstoff als Cosubstrat | 286 |
| | | | 8.9.4 | Sauerstoff und Biolumineszenz | 286 |
| 8.7 | Citratzyklus und alternative Wege | 272 | | | |

| | | | | | |
|-------------|---|-----|-------------|---|-----|
| 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 | 9.8.2 | Alternative Wege der CO ₂ -Fixierung | 312 |
| 9.2 | Organisation der „Zellfabrik“ | 294 | | Reduktiver Acetyl-CoA-Weg | 312 |
| 9.3 | Syntheseleistung der Zelle | 296 | | Reduktiver Citratzyklus | 312 |
| 9.4 | Metabolite und ihre Konzentrationen in der Zelle | 296 | 9.8.3 | Besondere Wege der CO ₂ -Fixierung | 313 |
| 9.5 | Makromoleküle und ihre Bausteine ... | 297 | | Ökologische, ökonomische und evolutionäre Aspekte | 313 |
| 9.6 | Assimilation der Elemente N, S, P und der Spurenelemente | 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 | 9.9 | Biosynthesen der Bausteine | 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 |
| 9.7 | Bereitstellung von C₁-Einheiten, Energie, Reduktions- und Oxidationsmitteln | 306 | 9.9.4 | Lipide | 320 |
| 9.7.1 | C ₁ -Einheiten | 306 | 9.9.5 | Speicherstoffe | 323 |
| 9.7.2 | Energie | 307 | 9.10 | Sekundärmetabolite | 325 |
| 9.7.3 | Reduktions- und Oxidationsmittel | 308 | 9.10.1 | Funktion von Sekundärmetaboliten | 325 |
| 9.8 | Synthese von Zellmaterial aus CO₂ | 308 | 9.10.2 | Beispiele für Sekundärmetabolite | 326 |
| 9.8.1 | Calvin-Benson-Zyklus | 310 | 9.11 | Synthesen von komplexen Zellstrukturen | 327 |
| 10 | Transport durch die Cytoplasmamembran | 334 | 9.11.1 | Synthese von Zellwandkomponenten an der Membran | 327 |
| | <i>Erwin Schneider</i> | | 9.11.2 | Zusammenbau komplexer Strukturen | 329 |
| 10.1 | Überblick | 334 | 10.2.2 | Passiver Transport durch Kanalproteine .. | 334 |
| 10.2 | Grundlagen des Transports | 334 | 10.2.3 | Aktiver Transport durch Carrier | 335 |
| 10.2.1 | Passiver Transport durch Diffusion | 334 | | | |

| | | | | | |
|-------------|---|-----|---------------|--|-----|
| 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 | 10.6 | Translokationssysteme für den Proteinexport | 344 |
| | Na ⁺ -abhängige Decarboxylasen | 338 | 10.6.1 | Sec-Translokationssystem | 344 |
| 10.3.2 | Sekundäre Transportsysteme | 339 | 10.6.2 | Tat-Translokationssystem | 348 |
| 10.3.3 | Gruppentranslokation | 340 | 10.6.3 | Spezielle Sekretionssysteme | 348 |
| 10.3.4 | Zusammenwirken von Exoenzymen und Transport | 341 | | Sec-abhängige Systeme | 348 |
| 10.4 | Weitere Aspekte der Transportsysteme | 341 | | Sec-unabhängige Systeme | 348 |
| 10.4.1 | Beteiligung von Transportsystemen an der Gen- und Proteinregulation | 341 | 10.7 | Aufnahme von DNA | 350 |
| 10.4.2 | Transportsysteme als chemotaktische Rezeptoren | 343 | | | |
| 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 |
| 11.2.1 | Aerobe Mineralisierung | 354 | 11.6.3 | Lipide | 366 |
| 11.2.2 | Anaerobe Mineralisierung | 355 | 11.7 | Abbau niedermolekularer Substanzen | 367 |
| 11.3 | Gemeinsame Aspekte des Polymerabbaus | 355 | 11.7.1 | Zucker | 368 |
| 11.4 | Abbau von Polysacchariden | 356 | 11.7.2 | Aminosäuren | 370 |
| 11.4.1 | Cellulose | 357 | 11.7.3 | Aromatische Verbindungen | 372 |
| 11.4.2 | Hemicellulosen | 357 | | Aerober Abbau von Aromaten | 372 |
| 11.4.3 | Pectine | 358 | | Anaerober Abbau von Aromaten | 374 |
| 11.4.4 | Andere Polysaccharide | 359 | 11.7.4 | Kohlenwasserstoffe | 376 |
| 11.4.5 | Chitin und Murein | 359 | | Aerober Abbau von Kohlenwasserstoffen | 376 |
| 11.4.6 | Stärke | 360 | | Anaerober Abbau von Kohlenwasserstoffen | 379 |
| 11.4.7 | Fructane | 361 | 11.7.5 | Fettsäuren | 379 |
| 11.5 | Abbau von Lignin | 362 | 11.7.6 | Purine, Pyrimidine und andere heterozyklische Verbindungen | 382 |
| 11.6 | Abbau von Proteinen, Nukleinsäuren und Lipiden | 364 | 11.8 | Abbau und Cometabolismus von Xenobiotika | 382 |
| 12 | Oxidation anorganischer Verbindungen: chemolithotrophe Lebensweise | 388 | 11.9 | Unvollständige Oxidationen | 384 |
| | <i>Johann Heider</i> | | | | |
| 12.1 | Überblick | 388 | 12.2.1 | Art und Herkunft der Substrate | 388 |
| 12.2 | Habitats und Lebensweise von chemolithotrophen Bakterien | 388 | 12.2.2 | Habitats | 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 Propion- säuregärung | 431 | 13.9 | Sekundäre Gärungen und Homoacetat- gärung | 435 |
| | Methylmalonyl-CoA-Weg | 431 | 13.9.1 | Sekundäre Gärungen | 435 |
| | Acrylyl-CoA-Weg | 432 | | Eigenschaften und Isolierung der sekundären Gärer. | 436 |
| 13.8 | Vergärung von Aminosäuren | 433 | 13.9.2 | Homoacetatgärung | 438 |
| 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 succinoge- nes</i> | 454 |
| 14.3 | Nitrat, Nitrit, N₂O als Elektronenakzep- toren | 444 | 14.7.2 | Syntrophe Assoziation von <i>Desulfuromo- nas acetoxidans</i> mit Grünen Schwefel- bakterien | 455 |
| 14.3.1 | Denitrifikation | 444 | | | |
| | Reduktion von Nitrat zu Nitrit | 444 | 14.8 | Methanogenese: CO₂ als Elektronen- akzeptor | 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 Elektronen- akzeptoren | 448 | 14.8.3 | Methanbildung aus Acetat | 459 |
| 14.6 | Sulfat als Elektronenakzeptor | 449 | 14.9 | Acetogenese: CO₂ als Elektronen- akzeptor | 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 Elektronen- akzeptoren | 463 |
| 14.6.3 | Unterschiede zwischen assimilatorischer und dissimilatorischer Sulfatreduktion ... | 452 | 14.10.1 | Sulfoxide und Aminoxide | 463 |
| 14.6.4 | Rolle der sulfatreduzierenden Mikro- organismen 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 Cyanobakte- rien | 468 |
| 15.2 | Bedeutung und Prinzipien der Photo- synthese | 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 Unden</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 |
| 16.3.1 | Veränderung der DNA-Struktur | 495 | | Attenuation | 501 |
| 16.3.2 | Kontrolle der Transkription und Translation | 496 | 16.3.7 | Posttranslationale Regulation | 502 |
| 16.3.3 | Regulation der Transkription durch DNA-bindende Proteine | 496 | 16.4 | Reizaufnahme und Reizverarbeitung | 504 |
| | Negative Regulation durch Repressorproteine | 497 | 16.4.1 | Membranständige und cytoplasmatische Sensoren | 504 |
| | Positive Regulation durch Aktivatorproteine | 497 | 16.4.2 | Regulons, Stimulons und Netzwerke | 504 |
| | Verwendung komplexer Promotoren | 498 | 16.4.3 | Aufbau und Funktion von Zweikomponentensystemen | 505 |
| 16.3.4 | Alternative σ -Faktoren | 499 | 16.4.4 | Intrazelluläre Signalmoleküle | 506 |
| 16.3.5 | Funktionskontrolle durch Synthese und Proteolyse | 499 | 16.5 | Regulation von Katabolismus und Energiestoffwechsel | 506 |

| | | | | | |
|-------------|--|-----|--------------|---|-----|
| 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 |
| 16.6 | Regulation der Stickstoffassimilierung | 512 | | Regulation der Hitzeschockantwort | 519 |
| 16.7 | Stringente Kontrolle und generelle Stressantwort | 514 | | Kälteschock | 519 |
| 16.7.1 | Stringente Kontrolle und Kopplung von Anabolismus und Katabolismus | 514 | 16.8.3 | Hüllstress und Reizerkennung durch ECF- σ -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 σ -Faktor σ^S in <i>E. coli</i> | 515 | 16.9 | Interzelluläre Kommunikation und Zelldichteregulation (Quorum Sensing) | 521 |
| | Regulation durch den alternativen σ -Faktor σ^B in <i>Bacillus</i> | 516 | 16.10 | Chemotaxis | 523 |
| 16.7.3 | Toxin-Antitoxin-Systeme und bakterielle Persistenz | 516 | 16.11 | Differenzierung bei Bakterien | 524 |
| 17 | Mikrobielle Vielfalt, Evolution und Systematik | 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 |
| 17.1 | Überblick | 532 | 16.11.3 | Fruchtkörperbildende Myxobakterien | 528 |
| 17.2 | Diversität | 532 | 17.4 | Evolutionäre Grundlagen der prokaryontischen Vielfalt | 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 | | Migration | 543 |
| 17.3 | Systematik der Prokaryonten | 535 | 17.4.2 | Populationsgenetische Evolutionsmodelle | 543 |
| 17.3.1 | Bestandteile der Systematik: Charakterisierung, Taxonomie, und Phylogenie | 535 | 17.5 | Archaea – extremophile lebende Fossilien? | 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 | 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 | | Anamnox Bakterien | 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 | | „ Candidatus Xiphinematobacter“, ein symbiontischer Vertreter | 576 |
| | Thermomicrobia | 555 | 17.16.3 | Chlamydiae | 576 |
| | Anaerolineae und Caldilineae | 555 | 17.17 | Chlorobi | 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 |
| 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 |
| | Streptomyces | 566 | | Chemolithoautotrophe Alphaproteobacteria .. | 582 |
| | Andere myzelbildende Actinomycetales | 566 | | Methanotrophe und fakultativ methylotrophe 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 | 18.10.2 | Lithotrophe Oxidation | 617 |
| 18.5 Hunger, Stress, Abweidung und Populationskontrolle durch Phagen .. | 601 | | Fließgewässer | 618 |
| 18.5.1 Hunger | 601 | | 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 | | Marine Sedimente | 620 |
| 18.6.1 Diffusionskontrollierte Lebensräume und Gradientenorganismen..... | 605 | | Anaerobe Methanoxidation | 620 |
| 18.7 Methoden zur Analyse mikrobieller Populationen und ihrer Aktivitäten in der Natur..... | 605 | 18.11 | Boden und tiefer Untergrund | 621 |
| 18.7.1 Färbetechniken und Mikroautoradiografie .. | 606 | 18.11.1 | Boden als Standort für Mikroorganismen .. | 621 |
| 18.7.2 Chemische Methoden..... | 606 | 18.11.2 | Bodenbestandteile | 621 |
| 18.7.3 Kultivierungsmethoden | 606 | 18.11.3 | Mikroorganismen im Boden | 623 |
| 18.7.4 Molekularbiologische Methoden | 607 | 18.11.4 | Stickstoffhaushalt | 623 |
| 18.7.5 Analyse von Organismengemeinschaften .. | 609 | 18.11.5 | Methankreislauf | 624 |
| 18.8 Oberflächenanheftung, Biofilme und interzelluläre Kommunikation | 609 | 18.11.6 | Schichtung des Bodens..... | 624 |
| 18.8.1 Oberflächenanheftung | 609 | 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 Kältekonservierung..... | 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 Urogenitaltrakts | 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 | 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 | Stoffwechselleistungen von Essigsäurebakterien | 687 |
| | | | 20.4.3 | Biochemie der Essigsäurebildung | 688 |

