

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	xvi
----------------------	-----

Kapitel 1: Mikroorganismen und Mikrobiologie

1.1 Einführung in die Mikrobiologie	2
1.1.1 Die Wissenschaft der Mikrobiologie	2
1.1.2 Mikrobielle Zellen	3
1.1.3 Mikroorganismen und ihre Lebensräume	5
1.1.4 Evolution und die Verbreitung mikrobiellen Lebens	6
1.1.5 Der Einfluss der Mikroorganismen auf den Menschen	9
1.2 Die Entdeckung der Mikrobiologie	13
1.2.1 Die historischen Wurzeln der Mikrobiologie: Hooke, van Leeuwenhoek und Cohn	13
1.2.2 Pasteur und der Niedergang der Theorie der Spontanzeugung	16
1.2.3 Koch, Infektionskrankheiten und die Reinkultur in der Mikrobiologie	17
1.2.4 Die wachsende Bedeutung der mikrobiellen Vielfalt	20
1.2.5 Die Ära der modernen Mikrobiologie	22
1.3 Das Sichtbarmachen des Winzigen	23
1.3.1 Einige Grundlagen der Lichtmikroskopie	23
1.3.2 Kontrastvergrößerung in der Lichtmikroskopie	25
1.3.3 Die dreidimensionale Darstellung von Zellen	27
1.3.4 Das Elektronenmikroskop	29

Kapitel 2: Zellstruktur von Mikroorganismen

2.1 Zellform und Zellgröße	32
2.1.1 Zellmorphologie	32
2.1.2 Zellgröße und was es bedeutet, klein zu sein	32
2.2 Die Cytoplasmamembran und der Transport	36
2.2.1 Die Cytoplasmamembran	36
2.2.2 Die Funktionen der Cytoplasmamembran	39
2.2.3 Transport und Transportsysteme	40
2.3 Die Zellwände bei den Prokaryoten	44
2.3.1 Die Zellwand der <i>Bacteria</i> : Das Peptidoglykan	44
2.3.2 Die äußere Membran	48
2.3.3 Die Zellwände der <i>Archaea</i>	51

2.4	Weitere Zellwandstrukturen und Zellwandeinschlüsse	52
2.4.1	Zelloberflächenstrukturen	52
2.4.2	Zelleinschlüsse	54
2.4.3	Gasvesikel	56
2.4.4	Endosporen	57
2.5	Mikrobielle Bewegung	61
2.5.1	Geißeln und Beweglichkeit	61
2.5.2	Die Gleitbewegung	66
2.5.3	Mikrobielle Taxien	67
2.6	Die eukaryotische Zellstruktur	71
2.6.1	Die eukaryotische Zellstruktur und der Zellkern	71
2.6.2	Das Mitochondrium und das Hydrogenosom	72
2.6.3	Der Chloroplast	73
2.6.4	Endosymbiose: Verwandtschaften von Mitochondrien und Chloroplasten mit den <i>Bacteria</i>	73
2.6.5	Andere Organellen und eukaryotische Zellstrukturen	75

Kapitel 3: Stoffwechsel

3.1	Ernährung und Kultivierung von Mikroorganismen	80
3.1.1	Ernährung und Zellchemie	80
3.1.2	Kulturmedien	83
3.1.3	Die Laborkultur	84
3.2	Energetik und Enzyme	85
3.2.1	Bioenergetik	86
3.2.2	Katalysatoren und Enzyme	88
3.3	Oxidations-Reduktions-Reaktionen und energiereiche Verbindungen	90
3.3.1	Elektronendonator und Elektronenakzeptor	90
3.3.2	Energiereiche Verbindungen und Energiespeicherung	92
3.4	Die wichtigsten Wege des Katabolismus	95
3.4.1	Glykolyse	95
3.4.2	Atmung und Elektronenüberträger	97
3.4.3	Die protonenmotorische Kraft	99
3.4.4	Der Citratzyklus	102
3.4.5	Die Vielfalt des Katabolismus	104
3.5	Die Phototrophie	106
3.5.1	Die Photosynthese	106
3.5.2	Chlorophylle und Bakteriochlorophylle	106
3.5.3	Carotinoide und Phycobiline	110
3.5.4	Anoxygene Photosynthese	111
3.5.5	Oxygene Photosynthese	116

3.6	Chemolithotrophie	118
3.6.1	Die Energetik der Chemolithotrophie	118
3.6.2	Die Wasserstoffoxidation	119
3.6.3	Die Oxidation reduzierter Schwefelverbindungen	120
3.6.4	Eisenoxidation	122
3.6.5	Nitrifizierung	124
3.6.6	Anammox	126
3.7	Die wichtigsten Biosynthesen: Autotrophie und Stickstofffixierung	128
3.7.1	Der Calvinzyklus	128
3.7.2	Weitere autotrophe Wege bei Phototrophen	130
3.7.3	Stickstofffixierung und Nitrogenase	132
3.8	Fermentationen	133
3.8.1	Energetische und Redox-Betrachtungen	133
3.8.2	Milchsäure- und gemischte Säure-Gärungen	136
3.8.3	Gärungen von Clostridien und die Propionsäure-Gärung	139
3.8.4	Gärungen ohne Substratkettenphosphorylierung	142
3.8.5	Syntrophien	143
3.9	Anaerobe Atmung	146
3.9.1	Anaerobe Atmungen: Generelle Betrachtungen	146
3.9.2	Die Nitratreduktion und die Denitrifikation	148
3.9.3	Sulfat und die Schwefelreduktion	150
3.9.4	Acetogenese	153
3.9.5	Die Methanogenese	155
3.9.6	Andere Elektronenakzeptoren	161
3.9.7	Organische Elektronenakzeptoren	163
3.9.8	Die anaerobe Oxidation von Kohlenwasserstoffen, die mit der anaeroben Atmung verknüpft ist	164
3.10	Aerober chemoorganotropher Abbau	167
3.10.1	Molekularer Sauerstoff als Reaktionsmittel und die aerobe Kohlenwasserstoffoxidation	167
3.10.2	Methylotrophie und Methanotrophie	169
3.10.3	Der Zucker- und Polysaccharidmetabolismus	171
3.10.4	Der Metabolismus von organischen Säuren	174
3.10.5	Der Lipidstoffwechsel	175
3.11	Grundlagen des Anabolismus	177
3.11.1	Die Biosynthese von Zuckern und Polysacchariden	177
3.11.2	Die Biosynthese der Aminosäuren und Nucleotide	178
3.11.3	Die Biosynthese der Fettsäuren und Lipide	179
3.11.4	Regulation der Aktivität biosynthetischer Enzyme	181

Kapitel 4: Mikrobielles Wachstum

4.1	Die bakterielle Zellteilung	186
4.1.1	Zellwachstum und Zweiteilung	186
4.1.2	Fts-Proteine und die Zellteilung	187
4.1.3	MreB und die Determinanten der Zellmorphologie	189
4.1.4	Die Peptidoglykansynthese und die Zellteilung	191
4.2	Das Wachstum einer Population	193
4.2.1	Das Prinzip des exponentiellen Wachstums	193
4.2.2	Die Mathematik des exponentiellen Wachstums	194
4.2.3	Der mikrobielle Wachstumszyklus	195
4.2.4	Die kontinuierliche Kultur: der Chemostat	197
4.3	Messung des mikrobiellen Wachstums	200
4.3.1	Mikroskopische Messungen	200
4.3.2	Bestimmung der Lebendkeimzahl	201
4.3.3	Trübungsmessungsmethoden	204
4.4	Temperatur und mikrobielles Wachstum	206
4.4.1	Die Wirkung der Temperatur auf das Wachstum	206
4.4.2	Mikrobielles Leben in der Kälte	207
4.4.3	Mikrobielles Leben bei hohen Temperaturen	211
4.5	Weitere Umwelteinflüsse auf das Wachstum	213
4.5.1	Säuregehalt und Alkalinität	213
4.5.2	Osmotische Einflüsse	215
4.5.3	Sauerstoff und Mikroorganismen	218
4.5.4	Toxische Formen des Sauerstoffs	220
4.6	Die Kontrolle mikrobiellen Wachstums	222
4.6.1	Physikalische antimikrobielle Kontrolle	223
4.6.2	Chemische antimikrobielle Kontrolle	230
4.6.3	Verwendung antimikrobieller Wirkstoffe <i>in vivo</i>	233
4.6.4	Antimikrobielle Medikamentenresistenz und Medikamentenentwicklung	243

Kapitel 5: Prinzipien der Genetik

5.1	Mutation	252
5.1.1	Mutationen und Mutanten	252
5.1.2	Die molekularen Grundlagen der Mutation	255
5.1.3	Mutagenese	258
5.2	Gentransfer	262
5.2.1	Die genetische Rekombination	263
5.2.2	Transformation	265

5.2.3	Transduktion	268
5.2.4	Konjugation: Allgemeine Grundlagen	270
5.2.5	Komplementation	271
5.2.6	Gentransfer bei <i>Archaea</i>	274
5.2.7	Mobile DNA: Transponierbare Elemente	275

Kapitel 6: Molekularbiologie der *Bacteria*

6.1	DNA-Struktur und genetische Information	280
6.1.1	Makromoleküle und Gene	280
6.1.2	Die Doppelhelix	283
6.1.3	Die Überspiralisierung	285
6.1.4	Chromosomen und andere genetische Elemente	287
6.2	Chromosomen und Plasmide	288
6.2.1	Das Chromosom von <i>Escherichia coli</i>	288
6.2.2	Plasmide: Allgemeine Grundlagen	291
6.2.3	Die Biologie der Plasmide	293
6.3	Die DNA-Replikation	294
6.3.1	Matrizen und Enzyme	295
6.3.2	Die Replikationsgabel	295
6.3.3	Die bidirektionale Replikation und das Replisom	298
6.4	Die RNA-Synthese: Die Transkription	300
6.4.1	Überblick über die Transkription	301
6.4.2	Sigmafaktoren und Konsensussequenzen	303
6.4.3	Termination der Transkription	305
6.4.4	Die Transkriptionseinheit	305
6.5	Die Proteinstruktur und die Proteinsynthese	307
6.5.1	Polypeptide, Aminosäuren und die Peptidbindung	307
6.5.2	Die Translation und der genetische Code	308
6.5.3	Die Transfer-RNA	311
6.5.4	Die Schritte der Proteinsynthese	313
6.5.5	Der Einbau von Selenocystein und Pyrrolysin	316
6.5.6	Die Faltung und Ausscheidung von Proteinen	317

Kapitel 7: Molekularbiologie der *Archaea* und Eukaryoten

7.1	Die Molekularbiologie der <i>Archaea</i>	322
7.1.1	Chromosomen und die DNA-Replikation bei den <i>Archaea</i>	322
7.1.2	Transkription und RNA-Prozessierung bei <i>Archaea</i>	324
7.1.3	Die Proteinsynthese bei <i>Archaea</i>	326
7.1.4	Gemeinsamkeiten der <i>Bacteria</i> und der <i>Archaea</i>	327

7.2 Die Molekularbiologie der Eukaryoten	328
7.2.1 Gene und Chromosomen bei <i>Eukarya</i>	328
7.2.2 Überblick über die eukaryotische Zellteilung	330
7.2.3 Die Replikation der linearen DNA	330
7.2.4 RNA-Prozessierung	333
7.2.5 Transkription und Translation bei <i>Eukarya</i>	336

Kapitel 8: Regulation der Genexpression

8.1 Überblick über die Regulation	340
8.2 DNA-Bindeproteine und die Regulation der Transkription	341
8.2.1 DNA-Bindeproteine	341
8.2.2 Die negative Kontrolle der Transkription: Repression und Induktion	343
8.2.3 Die positive Kontrolle der Transkription	346
8.2.4 Die globale Kontrolle und das <i>lac</i> -Operon	347
8.2.5 Die Kontrolle der Transkription bei den <i>Archaea</i>	350
8.3 Registrierung von Umweltveränderungen und Signaltransduktion	351
8.3.1 Zwei-Komponenten-Regulations-Systeme	351
8.3.2 Die Regulation der Chemotaxis	353
8.3.3 Quorum sensing	355
8.3.4 Die stringente Antwort	357
8.3.5 Weitere Netzwerke globaler Kontrolle	358
8.4 Die Regulation der Entwicklung der <i>Bacteria</i>	361
8.4.1 Die Sporulation bei <i>Bacillus</i>	361
8.4.2 Die Differenzierung bei <i>Caulobacter</i>	362
8.5 Die Regulation durch RNA	363
8.5.1 Regulation durch RNA und die Antisense-RNA	363
8.5.2 Das CRISPR-Antivirales Verteidigungssystem	365
8.5.3 Riboswitches	366
8.5.4 Attenuation	368

Kapitel 9: Mikrobielle Genomik

9.1 Genome und Genomik	372
9.1.1 Einführung in die Genomik	372
9.1.2 Sequenzierung und Zuordnung des Genoms	373
9.1.3 Analysen mit Hilfe der Bioinformatik und Genverteilungen	375
9.1.4 Die Genome der eukaryotischen Mikroorganismen	380
9.1.5 Metagenomik	380

9.2	Genomfunktion und Regulation	381
9.2.1	Microarrays und Transkriptome	381
9.2.2	Proteomik und das Interaktom	384
9.2.3	Metabolomik	386

Kapitel 10: Mikrobielle Evolution und Systematik

10.1	Die frühe Erde, der Ursprung des Lebens und die mikrobielle Vielfalt	388
10.1.1	Entstehung und Frühgeschichte der Erde	388
10.1.2	Der Ursprung zellulären Lebens	390
10.1.3	Mikrobielle Diversifikation: Folgen für die Biosphäre der Erde	394
10.1.4	Der endosymbiontische Ursprung der Eukaryoten	395
10.2	Die mikrobielle Evolution	397
10.2.1	Der Evolutionsprozess	397
10.2.2	Evolutionsanalyse: Theoretische Aspekte	399
10.2.3	Evolutionsanalyse: Analytische Methoden	400
10.2.4	Mikrobielle Phylogenie	404
10.3	Mikrobielle Systematik	406
10.3.1	Phänotypische Analyse: Fettsäuremethylester (FAME)	406
10.3.2	Analysen des Genotyps	408
10.3.3	Das Spezieskonzept in der Mikrobiologie	411
10.3.4	Klassifizierung und Nomenklatur	414

Kapitel 11: Bacteria

11.1	Die Phylogene der <i>Bacteria</i>	416
11.2	<i>Proteobacteria</i>	417
11.2.1	Die phototrophen Purpurbakterien	418
11.2.2	Die nitrifizierenden Bakterien	421
11.2.3	Die schwefel- und eisenoxidierenden Bakterien	422
11.2.4	Wasserstoffoxidierende Bakterien	425
11.2.5	Methanotrophe und Methylo trope	427
11.2.6	Pseudomonaden	430
11.2.7	Essigsäurebakterien	431
11.2.8	Frei lebende, aerobe stickstofffixierende Bakterien	432
11.2.9	<i>Neisseria</i> , <i>Chromobacterium</i> und Verwandte	434
11.2.10	Die Enterobakterien	434
11.2.11	<i>Vibrio</i> , <i>Aliivibrio</i> und <i>Photobacterium</i>	437
11.2.12	Rickettsien	439
11.2.13	Spirillen	441
11.2.14	Knospende und gestielte Bakterien	445
11.2.15	Die Myxobakterien	449
11.2.16	Sulfat- und schwefelreduzierende <i>Proteobacteria</i>	452
11.2.17	Die <i>Epsilonproteobacteria</i>	455

11.3	<i>Firmicutes, Mollicutes und Actinobacteria</i>	457
11.3.1	Nichtsporulierende <i>Firmicutes</i>	457
11.3.2	Endosporenbildende <i>Firmicutes</i>	461
11.3.3	<i>Mollicutes</i> : Die Mycoplasmen	464
11.3.4	<i>Actinobacteria</i> : Coryneforme Bakterien und Propionsäurebakterien	466
11.3.5	<i>Actinobacteria</i> : <i>Mycobacterium</i>	468
11.3.6	Filamentöse <i>Actinobacteria</i> : <i>Streptomyces</i> und Verwandte	470
11.4	Cyanobakterien und Prochlorophyten	474
11.4.1	Cyanobakterien	474
11.4.2	Die Prochlorophyten	477
11.5	Chlamydien	479
11.6	Die Planktomyceten	481
11.7	Die Verrucomicrobia	482
11.8	Die <i>Flavobacteria</i> und die <i>Acidobacteria</i>	483
11.8.1	<i>Bacteroides</i> und <i>Flavobacterium</i>	483
11.8.2	<i>Acidobacteria</i>	483
11.9	Die <i>Cytophaga</i>-Gruppe	485
11.10	Grüne Schwefelbakterien	486
11.11	Die Spirochäten	488
11.12	Die Deinokokken	491
11.13	Die grünen Nicht-Schwefel-Bakterien: <i>Chloroflexi</i>	492
11.14	Hyperthermophile Bakterien	494
11.14.1	<i>Thermotoga</i> und <i>Thermodesulfobacterium</i>	494
11.14.2	<i>Aquifex</i> , <i>Thermocrinis</i> und Verwandte	495
11.15	<i>Nitrospira</i> und <i>Deferribacter</i>	496

Kapitel 12: *Archaea*

12.1	Diversität	500
12.2	<i>Euryarchaeota</i>	502
12.2.1	Die extrem halophilen <i>Archaea</i>	502
12.2.2	Methanogene <i>Archaea</i>	507
12.2.3	<i>Thermoplasmatales</i>	510

12.2.4	<i>Thermococcales</i> und <i>Methanopyrus</i>	512
12.2.5	<i>Archaeoglobales</i>	513
12.2.6	<i>Archaeoglobus</i>	513
12.2.7	<i>Nanoarchaeum</i> und <i>Aciduliprofundum</i>	514
12.3	<i>Crenarchaeota</i>	516
12.3.1	Habitate und Energiemetabolismus	516
12.3.2	<i>Crenarchaeota</i> aus terrestrischen, vulkanischen Habitaten	517
12.3.3	<i>Crenarchaeota</i> aus vulkanischen Habitaten im Meer	519
12.3.4	<i>Crenarchaeota</i> aus nicht thermalen Habitaten und die Nitrifizierung bei den <i>Archaea</i>	522
12.4	Evolution und das Leben bei hohen Temperaturen	523
12.4.1	Die obere Temperaturgrenze mikrobiellen Lebens	523
12.4.2	Molekulare Anpassung an das Leben bei hohen Temperaturen	524
12.4.3	Hyperthermophile <i>Archaea</i> , Wasserstoff und die mikrobielle Evolution	526

Kapitel 13: Eukaryotische Mikroorganismen

13.1	Die eukaryotische mikrobielle Vielfalt	530
13.2	Protisten	531
13.2.1	Diplomonaden und Parabasalia	531
13.2.2	Euglenozoen	532
13.2.3	Alveolate – Ciliaten, Dinoflagellaten und Apicomplexa	533
13.2.4	Stramenopile – Diatomeen, Oomyceten und Goldalgen	536
13.2.5	Cercozoen und Radiolaria	537
13.2.6	Amoebozoen	538
13.3	Pilze	540
13.3.1	Physiologie, Struktur und Symbiosen	541
13.3.2	Vermehrung und Phylogenie	543
13.3.3	Chytridiomyceten	544
13.3.4	Zygomyceten und Glomeromyceten	545
13.3.5	Ascomyceten	546
13.3.6	Basidiomyceten und deren Lebenszyklus	548
13.4	Rotalgen und Grünalgen	549
13.4.1	Rotalgen	549
13.4.2	Grünalgen	550

Kapitel 14: Die wichtigsten mikrobiellen Habitate und ihre Vielfalt

14.1	Mikrobielle Ökologie	554
14.1.1	Grundlegende Konzepte der Ökologie	554
14.1.2	Die Versorgung des Ökosystems: Biogeochemie und Nährstoffkreisläufe	556

14.2 Nährstoffkreisläufe	557
14.2.1 Der Kohlenstoffkreislauf	557
14.2.2 Syntrophie und Methanogenese	560
14.2.3 Der Stickstoffkreislauf	563
14.2.4 Der Schwefelkreislauf	565
14.2.5 Der Eisenkreislauf	567
14.2.6 Die Kreisläufe von Phosphor, Kalzium und Silizium	569
14.3 Der mikrobielle Lebensraum	572
14.3.1 Lebensräume und Mikrolebensräume	572
14.3.2 Oberflächen und Biofilme	574
14.3.3 Mikrobielle Matten	578
14.4 Terrestrische Lebensräume	580
14.4.1 Böden	580
14.4.2 Der Bereich unterhalb der Oberfläche	584
14.5 Aquatische Lebensräume	586
14.5.1 Süßwasser	586
14.5.2 Küstengewässer und Ozeanwasser: phototrophe Mikroorganismen	588
14.5.3 Die Tiefsee	594
14.5.4 Hydrothermalsysteme	598

Kapitel 15: Mikrobielle Symbiosen

15.1 Symbiosen zwischen Mikroorganismen	602
15.1.1 Flechten	602
15.2 Pflanzen als mikrobielle Habitate	605
15.2.1 Die Leguminose-Wurzelknöllchensymbiose	605
15.2.2 <i>Agrobacterium</i> und Wurzelhalsgallen	611
15.2.3 Mykorrhiza	613
15.3 Säugetiere als mikrobielle Habitate	615
15.3.1 Der Säugetierdarm	615
15.3.2 Der Pansen und Wiederkäuer	617
15.3.3 Das menschliche Mikrobiom	621
15.4 Insekten als mikrobielle Habitate	625
15.4.1 Vererbte Insektensymbionten	625
15.4.2 Termiten	628
15.5 Aquatische Invertebraten und mikrobielle Habitate	630
15.5.1 Der hawaiianische Tintenfisch	630
15.5.2 Marine Invertebraten in Hydrothermalsystemen und Gasaustrittsstellen	632
15.5.3 Blutegel	634
15.5.4 Riffbauende Korallen	636

Kapitel 16: Wechselwirkung zwischen Menschen und Mikroorganismen

16.1 Nützliche Wechselwirkungen zwischen Menschen und Mikroorganismen	640
16.1.1 Überblick über die Wechselwirkungen zwischen Menschen und Mikroorganismen	640
16.1.2 Die normale Mikroflora der Haut	642
16.1.3 Die normale Mikroflora der Mundhöhle	643
16.1.4 Die normale Mikroflora des Gastrointestinaltrakts	646
16.1.5 Die normale Mikroflora anderer Körperregionen	649
16.2 Mikrobielle Virulenz und Pathogenese	651
16.2.1 Die Messung der Virulenz	651
16.2.2 Eindringen des Pathogenen in den Wirt – Anheftung	652
16.2.3 Kolonisierung und Infektion	654
16.2.4 Eindringen	655
16.2.5 Exotoxine	656
16.2.6 Endotoxine	662
16.3 Wirtsfaktoren einer Infektion	663
16.3.1 Risikofaktoren des Wirts bei einer Infektion	664
16.3.2 Angeborene Resistenz gegenüber einer Infektion	666
Abbildungsverzeichnis	669
Index	673