

Inhaltsverzeichnis

1

Die Zelle	1
1.1 Kleinste Lebenseinheit Zelle	1
1.2 Die verschiedenen Organisationsformen der Zelle	4
1.2.1 Die Zelle der Bacteria	5
1.2.2 Die Zelle der Archaea	9
1.2.3 Die Zelle der Eukarya	10
1.3 Mikroskopie	14
1.3.1 Das Lichtmikroskop	15
1.3.2 Das Elektronenmikroskop	21
1.3.3 Herstellung mikroskopischer Präparate	23
1.3.4 In vivo-Betrachtungen	28

2

Biophysikalische Grundlagen	30
2.1 Die besondere Rolle des Wassers	30
2.1.1 Die Struktur des Wassers	30
2.1.2 Wasser als Lösungsmittel	32
2.2 Gleichgewichte	36
2.2.1 Das Massenwirkungsgesetz	36
2.2.2 Das Löslichkeitsprodukt	37
2.3 Säuren, Basen und Puffer	38
2.3.1 Dissoziation des Wassers	39
2.3.2 Der pH-Wert	40
2.3.3 Puffer	45
2.3.4 Biologische Puffersysteme	46
2.4 Physikalische Faktoren für den Stofftransport	48
2.4.1 Diffusion	48
2.4.2 Ficksche Diffusionsgesetze	49
2.4.3 Diffusion und Membranen	51
2.4.4 Osmotische Erscheinungen	52
2.4.5 Osmose und Tonizität	54
2.4.6 Donnan-Verteilung	55
2.4.7 Viskosität	57
2.4.8 Strömung in Kapillaren	58
2.5 Thermodynamische Grundlagen	60
2.5.1 Der Erste Hauptsatz	61
2.5.2 Die Enthalpie	62
2.5.3 Der Zweite Hauptsatz	63
2.5.4 Chemisches Potential	65
2.5.5 Freie Standard-Bildungsenthalpie und Standardzustände ..	65

2.5.6	Die Änderung der freien Enthalpie unter Nicht-Standardbedingungen	67
2.5.7	Gekoppelte Reaktionen	68
2.6	Elektrochemie	69
2.6.1	Redoxreaktionen	69
2.6.2	Redoxpotentiale	70
2.6.3	Arbeitsleistung bei Redoxreaktionen	73
2.6.4	Die Nernst-Gleichung	74
2.6.5	Einfluss des pH-Wertes auf das Redoxpotential	75
2.6.6	Elektrochemisches Potential und Membranpotential	76
2.6.7	Goldman-Gleichung	77
2.6.8	Chemiosmotische Theorie und protonenmotorische Kraft	78
2.7	Licht und Leben	80
2.7.1	Die Natur des Lichts: elektromagnetische Wellen	81
2.7.2	Lichtabsorption	82
2.7.3	Messung der Lichtabsorption	85

3

	Aufbau und Eigenschaften biologischer Makromoleküle	87
3.1	Aufbau und Zusammenhalt von Makromolekülen	87
3.1.1	Verschiedene Bindungstypen bestimmen die Raumstruktur biologischer Makromoleküle	88
3.2	Kohlenhydrate	92
3.2.1	Monosaccharide	92
3.2.2	Oligo- und Polysaccharide	97
3.3	Nucleinsäuren	103
3.3.1	Die Bausteine der Nucleinsäuren	105
3.4	Lipide	108
3.4.1	Die Struktur der Fette	109
3.4.2	Die Struktur der Wachse	111
3.4.3	Die Struktur der komplexen Lipide	111
3.4.4	Die Struktur der Isoprenoide	112
3.5	Isomerie bei Biomolekülen	114
3.5.1	Konstitutionsisomere	115
3.5.2	Stereoisomere	115

4

	Proteine	120
4.1	Die Funktion von Proteinen	120
4.2	Die Aminosäuren – Bausteine der Proteine	121
4.2.1	Eigenschaften von Aminosäuren	122
4.2.2	Die 20 Standardamino-säuren	123
4.2.3	Weitere proteinogene Aminosäuren	126
4.2.4	Nicht proteinogene Aminosäuren und Aminosäurederivate	128

4.3	Die Struktur von Proteinen	129
4.3.1	Die verschiedenen Sekundärstrukturen von Proteinen	131
4.3.2	Von der Sekundär – über die Supersekundär – zur Tertiärstruktur	138
4.3.3	Die Stabilisierung von Proteinstrukturen	141
4.3.4	Der rätselhafte Faltungscodex der Proteine	143
4.3.5	Die Quartärstruktur	145
4.4	Die Methoden der Proteinchemie	147
4.4.1	Proteinnachweis	147
4.4.2	Elektrophoretische Techniken	149
4.4.3	Proteinreinigung	151
4.4.4	Analyse der Proteinstruktur	154
4.4.5	Recherche im Internet und Proteindatenbanken	161
4.4.6	Protein-Engineering	163

5

Enzymbiochemie	166
5.1 Was sind Enzyme?	166
5.1.1 Enzymspezifitäten	166
5.1.2 Die Rolle der Coenzyme	169
5.1.3 Einteilung der Enzyme	169
5.1.4 Isoenzyme	170
5.2 Strategien der Enzymkatalyse	172
5.2.1 Reaktionskinetik	172
5.2.2 Die Reaktionsgeschwindigkeit	173
5.2.3 Übergangszustand und Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	174
5.2.4 Katalyse durch Erniedrigung der Aktivierungsenergie	176
5.2.5 Das aktive Zentrum	177
5.2.6 Enzymaktivitäten	179
5.2.7 Einfluss des pH-Werts auf die Enzymaktivität	181
5.2.8 Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität	181
5.3 Enzymkinetik	182
5.3.1 Die Michaelis-Menten-Gleichung	183
5.3.2 Die Michaelis-Konstante	186
5.3.3 Das Verhältnis Michaelis-Konstante/Wechselzahl	187
5.3.4 Linearisierung der Michaelis-Menten-Gleichung	189
5.3.5 Hemmung der enzymatischen Aktivität	190
5.3.6 Irreversible Hemmung	191
5.3.7 Reversible Hemmtypen	191
5.3.8 Substrat- und Produkthemmung	196
5.3.9 Mehrsubstratreaktionen	196

5.4	Regulation der enzymatischen Aktivität	198
5.4.1	Keine Wirkung ohne Enzym	199
5.4.2	Zymogenaktivierung	200
5.4.3	Schlüsselenzyme	200
5.4.4	Regulation durch kovalente Modifikation	201
5.4.5	Allosterische Effekte und Kooperativität	202
5.4.6	Kooperativität	203
5.5	Mechanismen der Enzymkatalyse	205
5.5.1	Serinproteasen	207
5.5.2	Metallionen-Katalyse	211
5.5.3	Lysozym	214
5.6	Ribozyme	215
5.6.1	Spleißen	216
5.6.2	Viroide und Hammerhead-Ribozyme	216
6	Coenzyme	219
6.1	Cofaktor, Coenzym oder prosthetische Gruppe?	219
6.2	Cofaktoren der Oxidoreductasen	223
6.2.1	Nicotinamidnucleotide	223
6.2.2	Flavinnucleotide	225
6.2.3	Faktor 420	227
6.2.4	Chinone	228
6.2.5	Glutathion	230
6.2.6	Tetrahydrobiopterin	231
6.2.7	Liponsäure	231
6.2.8	Metallionen als Cofaktoren	233
6.2.9	Eisen-Schwefel-Cluster	234
6.2.10	Molybdopterin	235
6.2.11	Metallporphyrine als Cofaktoren	236
6.3	Coenzyme für den Transfer von C₁-Fragmenten	241
6.3.1	S-Adenosylmethionin	241
6.3.2	Tetrahydrofolat	241
6.3.3	Biotin	244
6.4	Coenzyme für den Transfer von C₂- und größeren Fragmenten	247
6.4.1	Coenzym A	248
6.5	Energereiche Phosphorverbindungen als Cofaktoren ..	250
6.5.1	Nucleotide als Cofaktoren	250
6.5.2	Andere energiereiche Phosphor-Verbindungen als Cofaktoren	254
6.6	Coenzyme der Lyasen, Isomerasen und Ligasen	255
6.6.1	Thiamindiphosphat	255
6.6.2	Pyridoxalphosphat	256
6.6.3	Cobalamin (Coenzym B ₁₂)	259

7

Stoffwechsel	262
7.1 Grundprinzipien des Stoffwechsels	262
7.1.1 ATP und weitere energiereiche Verbindungen	265
7.1.2 Mechanismen der ATP-Synthese	268
7.1.3 Ein Überblick über die Reaktionen des Stoffwechsels	270
7.2 Der Kohlenhydratstoffwechsel	273
7.2.1 Die Glykolyse	274
7.2.2 Polysaccharide	280
7.2.3 Die Gluconeogenese	285
7.2.4 Der Pentosephosphatweg	288
7.2.5 Anaerober Glucoseabbau: Verschiedene Gärungen	290
7.2.6 Oxidative Decarboxylierung des Pyruvats	292
7.2.7 Der Citratzyklus	293
7.2.8 Der Glyoxylatzyklus	298
7.3 Die Atmungskette	300
7.3.1 Die Komponenten der Atmungskette	301
7.3.2 Aufbau der protonenmotorischen Kraft	303
7.3.3 Kopplung von Oxidation und Phosphorylierung	305
7.3.4 Struktur und Funktion der ATP-Synthase	307
7.3.5 Energiebilanz der Atmungskette	309
7.3.6 Der respiratorische Quotient	311
7.3.7 Regulation der Atmungskette	311
7.4 Der Lipidstoffwechsel	313
7.4.1 Die β -Oxidation der Fettsäuren	314
7.4.2 Die Fettsäurebiosynthese	321
7.4.3 Die Biosynthese von Lipiden	325
7.5 Der Stickstoffstoffwechsel	330
7.5.1 Stickstoff-Assimilation	331
7.5.2 Aminosäuresynthese	331
7.5.3 Nucleotidsynthese	334
7.5.4 Aminosäureabbau	335
7.5.5 Ausscheidung von Stickstoff	336
7.6 Die Photosynthese	339
7.6.1 Oxygene Photosynthese	340
7.6.2 Anoxygene Photosynthese	343
7.6.3 CO_2 -Fixierung: Der Calvin-Zyklus	345
7.6.4 Regulation des Calvin-Zyklus	347

8

Membranen	348
8.1 Die Lipiddoppelschicht als universeller Bauplan aller zellulären Membranen	348
8.2 Die Lipidkomponente der Membranen	350
8.2.1 Phospholipide	354
8.2.2 Glykolipide	356
8.2.3 Sterine und Hopanoide	357
8.2.4 Etherlipide und Isoprenoidlipide	359
8.2.5 Lipopolysaccharide	360
8.2.6 Bewegungen innerhalb der Membran	360
8.2.7 Strukturelle Organisation biologischer Membranen	362
8.2.8 Funktionen einzelner Lipide	364
8.2.9 Bildung neuer Membranen – intrazelluläre Lipidverteilung	365
8.3 Die Proteinkomponente der Membranen	367
8.3.1 Periphere Membranproteine	368
8.3.2 Integrale Membranproteine	368
8.4 Transportvorgänge an Membranen	371
8.4.1 Kanalbildende Proteine	373
8.4.2 Carrier	373
8.4.3 Ionophore	376
8.4.4 Porine und kanalbildende bakterielle Toxine	376
8.4.5 Aquaporine	377
8.4.6 Liganden-gesteuerte Ionenkanäle	379
8.4.7 ATP-getriebene Transporter	379
8.4.8 Die Na^+ - K^+ -ATPase	381
8.4.9 ABC-Transporter	383

9

Die eukaryotischen Zellkompartimente	387
9.1 Die Kompartimentierung der eukaryotischen Zelle	387
9.2 Der Zellkern	389
9.2.1 Das Chromatin	391
9.2.2 Der Nucleolus	392
9.2.3 Kernlamina und Kernmatrix	393
9.2.4 Der Kernporenkomplex	394
9.2.5 Kerntransportprozesse	395
9.3 Endoplasmatisches Retikulum	399
9.3.1 Translokation von Proteinen in das endoplasmatische Retikulum	401
9.3.2 Proteinmodifikationen im ER	404
9.3.3 Lipidsynthese	406
9.3.4 Proteintransport zwischen ER und Golgi	406

9.4	Golgi-Apparat	408
9.4.1	Processing-Reaktionen im Golgi-Apparat	410
9.5	Vesikelknospung, Proteintargeting und Membranfusion	412
9.6	Exocytose, Endocytose, Transcytose, Phagocytose	415
9.6.1	Exocytose	416
9.6.2	Endocytose	417
9.6.3	Transcytose	422
9.6.4	Phagocytose	424
9.7	Microbodies: Peroxisomen, Glyoxysomen, Glykosomen .	425
9.8	Lysosomen	427
9.8.1	Der enzymatische Abbau in Lysosomen	429
9.8.2	Mannose-6-phosphat: Das Sortierungssignal für lysosomale Proteine	430
9.9	Vakuolen	431
9.10	Mitochondrien	433
9.10.1	Energieliefernde Prozesse in den Mitochondrien	435
9.10.2	Austausch mit dem Cytosol	436
9.10.3	Mitochondrialer Import	436
9.11	Plastiden	438
9.11.1	Syntheseprozesse in den Chloroplasten	440
9.11.2	Proteintransport in Chloroplasten	440
10	Cytoskelett	443
10.1	Einführung in das Cytoskelett	443
10.2	Mikrotubuli	446
10.2.1	Tubulin	446
10.2.2	Bau der Mikrotubuli	447
10.2.3	Dynamische Instabilität der Mikrotubuli	449
10.2.4	Funktionen der Mikrotubuli	452
10.2.5	Mikrotubuli-abhängige Motorproteine	454
10.2.6	Cilien und Flagellen	456
10.3	Mikrofilamente	461
10.3.1	Actin	461
10.3.2	Bau der Mikrofilamente	461
10.3.3	Actinbindende Proteine	463
10.3.4	Myosine, die Mikrofilament-abhängigen Motorproteine . . .	463
10.3.5	Funktionen der Mikrofilamente	465
10.4	Intermediäre Filamente	466
10.4.1	Bau der intermediären Filamente	467
10.4.2	Funktion der intermediären Filamente	468
10.5	Amöboide Bewegung	470

11	Zelloberflächen	472
	11.1 Oberflächenstrukturen und extrazelluläres Material ...	472
	11.1.1 Oberflächenstrukturen	472
	11.1.2 Glykokalyx	473
	11.1.3 Extrazelluläre Matrix der Tiere	474
	11.1.4 Zellwände der Pflanzen	481
	11.1.5 Zellwände der Prokaryoten	482
	11.2 Oberflächenrezeptoren und Signaltransduktion	483
	11.2.1 Rezeptortypen und Signaltransduktionswege	485
	11.2.2 Signaltransduktion bei Pflanzen und Prokaryoten	494
	11.2.3 Regulation der Signalübertragung und Integration der Signale	495
	11.3 Zell-Zell-Kontakte	497
	11.3.1 Tight Junctions	498
	11.3.2 Adherens Junctions	500
	11.3.3 Desmosomen	501
	11.3.4 Septate Junctions	504
	11.3.5 Gap Junctions	504
	11.3.6 Plasmodesmen	506
12	Zellteilung	508
	12.1 Funktionen der Zellteilung	508
	12.2 Prokaryoten	508
	12.3 Zellteilung bei Eukaryoten	510
	12.3.1 Die Stadien der Interphase	512
	12.3.2 Stadien der Mitose	515
	12.3.3 Cytokinese	525
	12.3.4 Mitose bei niederen Eukaryoten	526
	12.3.5 Mitose höherer Pflanzen	528
13	Anhang	531
	Maße und Einheiten	531
	Bildquellen	535
	Sachverzeichnis	536