

---

# Inhaltsverzeichnis

## I Die Moleküle des Lebens

<b>1</b>	<b>Biomoleküle und ihre Wechselwirkungen</b> .....	3
1.1	Die Entstehung des Lebens .....	3
1.2	Größe biologischer Strukturen, Geschwindigkeit biologischer Vorgänge und molekulare Zusammensetzung der lebenden Materie ..	5
1.3	Wechselwirkungen zwischen Biomolekülen .....	7
1.4	Wasser und hydrophober Effekt .....	9
1.5	Molekulare Erkennung .....	12
1.6	Fluss von Materie und Energie, energetische Koppelung von Reaktionen .....	15
<b>2</b>	<b>Kovalente Struktur der Proteine</b> .....	21
2.1	Prinzipien der Struktur der Proteine .....	22
2.2	Größe und Gestalt der Proteine .....	23
2.3	Aminosäuren, die Bausteine der Proteine .....	25
2.4	Ionisationszustände von Aminosäuren und Proteinen .....	28
2.5	Aminosäurezusammensetzung und Aminosäuresequenzen von Proteinen .....	30
<b>3</b>	<b>Raumstruktur der Proteine</b> .....	37
3.1	Stabilisierung der Raumstruktur .....	37
3.2	Sekundärstruktur .....	38
3.3	Tertiärstruktur .....	40
3.4	Äußere Gestalt und Quartärstruktur der Proteine .....	44
3.5	Dynamik und funktionsgebundene Strukturänderungen von Proteinen .....	45
3.6	Denaturierung von Proteinen .....	46
3.7	Faltungswege von Proteinen .....	48
3.8	Faserproteine .....	50
<b>4</b>	<b>Enzyme</b> .....	53
4.1	Allgemeine Eigenschaften der Enzyme .....	53
4.2	Katalyse und Aktivierungsenergie .....	56
4.3	Enzymkinetik .....	58
4.4	Struktur der aktiven Stelle und Wirkungsmechanismen von Enzymen .....	64
4.5	Beispiele von Enzymmechanismen .....	65
4.6	Regulation der Enzymaktivität .....	69

<b>5</b>	<b>Polysaccharide</b> .....	75
5.1	Reservehomoglykane .....	75
5.2	Strukturhomoglykane .....	77
5.3	Heteroglykane .....	78
<b>6</b>	<b>Lipide und biologische Membranen</b> .....	85
6.1	Fettsäuren .....	85
6.2	Triacylglycerole (Neutralfette, Triglyceride) und Wachse .....	86
6.3	Phospholipide und Glykolipide .....	88
6.4	Nichtverseifbare Lipide: Cholesterol und andere Steroide, Terpene, Prostaglandine und Thromboxane .....	90
6.5	Zusammensetzung und Bau biologischer Membranen .....	93
6.6	Membranproteine .....	95
6.7	Durchlässigkeit für Wasser, Ionen und Metaboliten .....	97
<b>7</b>	<b>Nucleinsäuren</b> .....	99
7.1	Prinzipien der Struktur und Funktion der Nucleinsäuren .....	99
7.2	Mononucleotide .....	100
7.3	Nucleinsäuren (Polynucleotide) .....	103
7.4	Struktur der Chromosomen .....	108
 <b>II Molekulare Genetik</b>		
<b>8</b>	<b>Replikation, Reparatur und Rekombination der DNA</b> .....	113
8.1	DNA-Replikation bei Prokaryonten .....	113
8.2	DNA-Replikation bei Eukaryonten .....	118
8.3	DNA-Schäden .....	120
8.4	Reparatursysteme .....	122
8.5	Genetische Rekombination .....	125
<b>9</b>	<b>Transkription: Biosynthese der RNA</b> .....	127
9.1	DNA-abhängige RNA-Polymerasen .....	128
9.2	Zusätzliche eukaryontische Transkriptionsfaktoren (Genregulator-Proteine) .....	130
9.3	Elongation und Termination .....	131
9.4	Bearbeitung des primären Transkriptionsprodukts .....	132
9.5	Spleißen ( <i>Splicing</i> ) .....	134
9.6	Synthese der tRNA und rRNA .....	137
<b>10</b>	<b>Translation: Übersetzung des Gens ins Phän</b> .....	139
10.1	Der genetische Code .....	139
10.2	Synthese von Proteinen, Übersicht .....	141
10.3	Bildung der Aminoacyl-tRNA .....	144
10.4	Initiation, Elongation, Termination .....	146
10.5	Hemmstoffe der Proteinsynthese .....	149

<b>11</b>	<b>Regulation der Genexpression</b> .....	151
11.1	Regulation der Transkription in Prokaryonten: das Operon .....	152
11.2	Struktur und Funktion eukaryontischer Transkriptionsfaktoren .....	154
11.3	Regulation der Transkription in Eukaryonten: Promotor, <i>Enhancer</i> und <i>Silencer</i> .....	157
11.4	Posttranskriptionale Regulation der Genexpression .....	159
11.5	Programmierung der Genexpression durch koordinierte Expression von Gengruppen .....	160
<b>12</b>	<b>Plasmide und Viren</b> .....	163
12.1	Plasmide .....	163
12.2	Viren .....	168
12.3	Tumoviren und Onkogene .....	172
12.4	Subvirale pathogene Agenzien: Viroide und Prionen .....	176
<b>III</b>	<b>Stoffwechsel</b>	
<b>13</b>	<b>Grundsätzliches zum Stoffwechsel</b> .....	179
13.1	Experimentelle Untersuchung des Stoffwechsels .....	180
13.2	Übersicht über den Stoffwechsel .....	181
13.3	Verwendung des im Katabolismus gebildeten ATP .....	185
13.4	Regulation des Stoffwechsels .....	186
<b>14</b>	<b>Glykolyse und Citratzyklus</b> .....	187
14.1	Glykolytischer Abbauweg .....	188
14.2	Alkoholische Gärung .....	196
14.3	Oxidation von Pyruvat zu Acetyl-CoA .....	196
14.4	Abbau von Acetyl-CoA im Citratzyklus .....	200
<b>15</b>	<b>Atmungskette, oxidative Phosphorylierung</b> .....	205
15.1	Organisation der Atmungskette .....	206
15.2	Redoxkomponenten der Atmungskette (FMN, FAD, FeS-Zentren, Ubichinon, Cytochrome) .....	208
15.3	Chemiosmotischer Mechanismus der oxidativen Phosphorylierung ..	213
15.4	Transport von Reduktionsäquivalenten vom Cytosol in die Mitochondrien .....	217
15.5	ATP-Bilanz des oxidativen Abbaus von Glucose .....	218
15.6	Regulation von oxidativer Phosphorylierung, Glykolyse und Citratzyklus .....	220
<b>16</b>	<b>Gluconeogenese, Glykogen, Disaccharide, Pentosephosphatweg</b> .....	225
16.1	Gluconeogenese .....	225
16.2	Abbau und Aufbau von Glykogen .....	229
16.3	Stoffwechsel der Disaccharide .....	236
16.4	Pentosephosphatweg .....	239

<b>17</b>	<b>Stoffwechsel der Fettsäuren</b> .....	241
17.1	Fettsäureabbau durch $\beta$ -Oxidation .....	241
17.2	Fettsäuresynthese .....	245
17.3	Ketonkörper .....	249
<b>18</b>	<b>Lipidstoffwechsel</b> .....	253
18.1	Auf- und Abbau der Triacylglycerole .....	253
18.2	Stoffwechsel der Phospholipide .....	255
18.3	Stoffwechsel von Cholesterol .....	257
<b>19</b>	<b>Stoffwechsel von Proteinen und Aminosäuren</b> .....	261
19.1	Proteinabbau .....	261
19.2	Abbau von Aminosäuren: Weg des Stickstoffs .....	263
19.3	Abbau von Aminosäuren: Weg des Kohlenstoffs .....	268
19.4	Störungen im Abbau von Aminosäuren .....	272
19.5	Synthese von Aminosäuren .....	274
19.6	C <sub>1</sub> -Stoffwechsel .....	274
19.7	Synthesen, an denen Aminosäuren beteiligt sind: Kreatin und Porphyrine .....	278
<b>20</b>	<b>Stoffwechsel der Purin- und Pyrimidinnucleotide</b> .....	283
20.1	Synthese von Purinnucleotiden, Wiederverwertung von Purinbasen .	283
20.2	Synthese von Pyrimidinnucleotiden, Wiederverwertung von Pyrimidinnucleosiden .....	286
20.3	Regulation der Nucleotidsynthese .....	286
20.4	Synthese der Desoxyribonucleotide .....	288
20.5	Abbau von Nucleinsäuren und Nucleotiden .....	291
<b>21</b>	<b>Organstoffwechsel und Nährstofftransport im Blut</b> .....	295
21.1	Die Stoffwechselleistungen der Organe in der Resorptions- und Postresorptionsphase .....	295
21.2	Anpassung des Stoffwechsels an den Hungerzustand .....	299
21.3	Transport von Nährstoffen im Blut .....	303
21.4	Lipidtransport und Lipoproteine .....	304
<b>22</b>	<b>Photosynthese</b> .....	311
22.1	Chloroplasten .....	312
22.2	Komponenten und Organisation des Photosynthese-Apparats .....	313
22.3	Chlorophyll .....	314
22.4	Lichtgetriebene Reduktion von NADP <sup>+</sup> und Synthese von ATP .....	315
22.5	Synthese von Kohlenhydrat aus CO <sub>2</sub> .....	318
<b>23</b>	<b>Besonderheiten des Stoffwechsels von Pflanzen und Bakterien</b> .....	323
23.1	Stickstoff-Assimilation aus Nitrat und N <sub>2</sub> .....	324
23.2	Schwefel-Assimilation aus Sulfat .....	326
23.3	Transport- und Speicherformen chemischer Energie bei Pflanzen ...	326
23.4	Sekundärstoffwechsel der Pflanzen .....	328
23.5	Phytohormone .....	331
23.6	Stoffwechselwege in Bakterien .....	332

## IV Zellen und ihre Umgebung

<b>24</b>	<b>Zellkompartimente und Proteinsortierung</b> .....	339
24.1	Kompartimentähnliche Strukturen in Bakterien .....	340
24.2	Organisation der Eukaryontenzellen in Kompartimente .....	341
24.3	Grundlegende Mechanismen des Proteintransports durch Vesikel ...	343
24.4	Proteintransport im Golgi-Apparat .....	347
24.5	Proteintransport zwischen Golgi-Apparat, Zelloberfläche und Lysosomen .....	347
24.6	Proteinglykosylierung während des Transports durch das endoplasmatische Retikulum und den Golgi-Apparat .....	348
24.7	Import von Proteinen in Mitochondrien, Chloroplasten und Peroxisomen .....	351
24.8	Pförtner-kontrollierter Transport ( <i>Gated transport</i> ) an der Kernhülle	353
24.9	Qualitätskontrolle der Faltung und der Lokalisierung von Proteinen durch Chaperone und Proteolyse .....	354
<b>25</b>	<b>Cytoskelett und molekulare Motoren</b> .....	355
25.1	Die drei Hauptbestandteile des Cytoskeletts: Actinfilamente, Mikrotubuli und Intermediärfilamente .....	355
25.2	Actincortex: eine flexible kontraktile Hülle am Zellrand .....	357
25.3	Centrosom: sternförmig ausstrahlende Mikrotubuli unterstützen die räumliche Organisation des Cytoplasmas .....	358
25.4	Intermediärfilamente: ein Netz zum Auffangen mechanischer Belastungen .....	360
25.5	Motorproteine: bewegliche Vernetzungen zwischen Cytoskelett und Organellen .....	362
<b>26</b>	<b>Zellzyklus, Kontrolle von Zellwachstum und Zelltod</b> .....	365
26.1	Konzept des Zellzyklus .....	366
26.2	Mitosen und Meiosen während des Lebenszyklus der Organismen ...	368
26.3	Maschinerie des Zellzyklus .....	369
26.4	Wachstumskontrolle, Zellzyklus und Tumorbildung .....	372
26.5	Kontrolle der Bereitschaft zur Teilung: Checkpoints .....	374
26.6	Apoptose, der programmierte Zelltod .....	376
<b>27</b>	<b>Zelladhäsion, Zellverbindungen und extrazelluläre Matrix</b> .....	379
27.1	Stabile Zell-Zell- und Zell-Matrix-Verbindungen .....	379
27.2	Kurzlebige Zell-Zell-Wechselwirkungen .....	383
27.3	Die extrazelluläre Matrix (ECM) .....	384
27.4	Die pflanzliche Zellwand: Papier und Holz .....	387
<b>28</b>	<b>Stoffaustausch durch Membranen</b> .....	389
28.1	Grundsätzliches zum Membrantransport .....	389
28.2	Mechanismus der $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -Pumpe .....	391
28.3	Symport- und Antiport-Systeme .....	392
28.4	Passiver Transport, erleichterte Diffusion .....	392
28.5	Chemische und elektrische Membranpotentiale .....	394
28.6	Transzellulärer Transport .....	395

<b>29</b>	<b>Rezeptoren und Signaltransduktion</b> .....	397
29.1	Grundsätzliches zur Signaltransduktion .....	398
29.2	Rezeptoren an der Zelloberfläche: G-Protein-gekoppelte Rezeptoren .	401
29.3	Rezeptoren an der Zelloberfläche: Rezeptoren mit enzymatisch aktiver cytosolischer Domäne .....	403
29.4	Rezeptoren an der Zelloberfläche: Proteolyse-regulierte Rezeptoren und Signalübermittlungen .....	408
29.5	Rezeptoren im Zellinnern .....	409
29.6	Untereinander vernetzte Übermittlungsmodule verarbeiten die Signale und leiten sie von den Rezeptoren zu den Effektoren ....	409
29.7	Signaltransduktion in Pflanzen .....	411
<b>V</b>	<b>Molekulare Physiologie</b>	
<b>30</b>	<b>Hormone, Cytokine und Wachstumsfaktoren</b> .....	417
30.1	Hierarchie der Hormondrüsen, hormonale Regelkreise, Biosynthese und Abbau der Hormone .....	418
30.2	Hormone des Hypothalamus und der Hypophyse .....	419
30.3	Die Nebenniere, ein lebenswichtiges Organ mit diversen Hormonen: Catecholamine, Cortisol und Aldosteron .....	423
30.4	Erythropoietin und Calcitriol aus der Niere; Renin und Angiotensin .	425
30.5	Gonadotropine und Sexualhormone .....	426
30.6	Kontrolle des Grundumsatzes durch die Schilddrüsenhormone; Regulation des Calcium- und Phosphat-Haushalts durch Parathyrin, Calcitriol und Calcitonin .....	428
30.7	Kontrolle der Blutzuckerkonzentration durch Glucagon und Insulin aus dem Pankreas .....	430
30.8	Mediatoren: von verschiedenen Zelltypen sezernierte Signalstoffe ...	432
30.9	Hormone in wirbellosen Tieren .....	434
30.10	Pheromone: Botenstoffe zwischen Individuen .....	434
<b>31</b>	<b>Neurotransmitter, Sinnesorgane</b> .....	437
31.1	Neurotransmitter .....	438
31.2	Sehvorgang .....	444
31.3	Geruchs- und Geschmacksrezeptoren .....	447
<b>32</b>	<b>Bewegungsapparat: Muskeln, Bindegewebe und Knochen</b> .....	451
32.1	Aufbau der verschiedenen Muskelarten .....	451
32.2	Das dicke Myosinfilament und das dünne Actinfilament .....	454
32.3	Das Sarkomer und die Entwicklung von Zugkraft .....	454
32.4	Regulation der Muskelkontraktion durch Calciumionen .....	458
32.5	Bereitstellung von ATP im Muskel .....	459
32.6	Bindegewebe und Knochen .....	460
<b>33</b>	<b>Enzymatische Schutzmechanismen</b> .....	463
33.1	Blutgerinnung und Fibrinolyse .....	464
33.2	Biotransformationen („Entgiftungsreaktionen“) .....	470
33.3	Schutz gegen reaktive Sauerstoffderivate ( <i>Reactive oxygen species</i> ROS) .....	472

---

<b>34</b>	<b>Immunsystem</b> .....	477
34.1	Angeborene Immunität .....	478
34.2	Adaptive Immunantwort: Antikörper aus B-Zellen und zelluläre Abwehr mit T-Zellen .....	479
34.3	Klonale Selektion von B-Zellen und T-Zellen .....	481
34.4	Adaptive Immunantwort: Bildung, Struktur und Antigenbindung der Antikörper .....	483
34.5	Adaptive Immunantwort: zelluläre Reaktionen .....	489
34.6	Immuntoleranz und Autoimmunkrankheiten .....	490
<b>35</b>	<b>Stoffaufnahme und Ausscheidung</b> .....	493
35.1	Verdauung und Resorption .....	493
35.2	Transport von O <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> im Blut .....	500
35.3	Ausscheidung von Stoffwechselendprodukten .....	504
35.4	Wasser-, Elektrolyt- und Säure-Basen-Haushalt .....	507
<b>36</b>	<b>Biochemische Aspekte der menschlichen Ernährung</b> .....	515
36.1	Bedarf an Brennstoffen, Baustoffen und Wirkstoffen .....	515
36.2	Hauptnährstoffe .....	518
36.3	Vitamine .....	523
36.4	Elektrolyte, Mineralstoffe und Spurenelemente .....	533
36.5	Nahrungsmittel .....	536
<b>VI</b>	<b>Biochemische und gentechnische Methoden</b>	
<b>37</b>	<b>Trenn- und Analysemethoden</b> .....	541
37.1	Zentrifugation .....	541
37.2	Chromatographie .....	544
37.3	Elektrophorese .....	546
37.4	Spektroskopie .....	549
37.5	Massenspektrometrie .....	552
37.6	Isotopenmarkierung, Radionuclide und Strahlenschutz .....	553
37.7	pH-Puffer .....	556
<b>38</b>	<b>Proteinanalytik</b> .....	557
38.1	Bestimmung der Aminosäurezusammensetzung und Sequenzanalyse eines Proteins .....	557
38.2	Analyse der Raumstruktur von Makromolekülen durch Röntgenkristallographie .....	559
38.3	Analyse der Raumstruktur von Makromolekülen durch magnetische Kernresonanz ( <i>Nuclear magnetic resonance</i> NMR) .....	559
38.4	Untersuchung posttranslationaler Modifikationen eines Proteins (Phosphorylierung, Glykosylierung, Methylierung, Ubiquitin-Markierung) .....	561
38.5	Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Proteinen und Liganden .....	562

<b>39</b>	<b>Gentechnik</b> .....	565
39.1	Werkzeuge der Gentechnik: Restriktionsenzyme und andere Nucleasen, Ligasen, DNA-Polymerasen und Rekombinationsenzyme .....	566
39.2	Plasmide als Vektoren (Genföhren) .....	568
39.3	Viren als Vektoren .....	569
39.4	Künstliche Chromosomen als Vektoren .....	570
39.5	PCR ( <i>Polymerase chain reaction</i> ) .....	571
39.6	Genbanken: cDNA und genomische DNA .....	574
39.7	Bestimmung der Nucleotidsequenz von DNA .....	577
39.8	Southern-, Northern- und Westernblots .....	578
39.9	Expression von Proteinen und RNA .....	580
39.10	Präsentation von Genprodukten auf Bakteriophagen ( <i>Phage display</i> ) oder Ribosomen ( <i>Ribosome display</i> ) .....	582
39.11	Gezielte und zufällige Mutagenese .....	585
39.12	Klonierung von Zellen und Organismen; transgene Organismen ....	585
<b>40</b>	<b>Genomik, Proteomik, Bioinformatik</b> .....	589
40.1	Genomanalyse und Gendiagnostik .....	590
40.2	Modulare DNA-Rekombination .....	591
40.3	Mikrochiptechnologie zur Quantifizierung von Nucleinsäuren und Proteinen .....	592
40.4	Proteomik: 2D-Gelelektrophorese, Massenspektrometrie und Mikrochips .....	594
40.5	Kartierung der Wechselwirkungen zwischen Proteinen mit der <i>Two-hybrid</i> -Technik .....	595
40.6	Computerprogramme, Datenbanken und wichtige Internetadressen ..	597
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	599
	<b>Abkürzungen</b> .....	635