

Inhalt

- 1 **Biochemie:** Basis aller Lebewesen
- 2 **Proteine:** Arbeiter der Zelle
- 3 **Enzyme:** Katalysatoren des Lebens
- 4 **Von der DNA zur RNA:** Speicherung und Auslesen von Information
- 5 **Translation:** von der RNA zum Protein
- 6 **Kompartimente, Proteinsortierung und -modifikationen:** der richtige Arbeiter am richtigen Platz
- 7 **Proteinabbau:** Entsorgung von defekten und nicht mehr benötigten Proteinen
- 8 **Analyse von Proteinen:** Woher weiß man das alles?
- 9 **Wirkungsweise von Hormonen:** Wie wird das alles kontrolliert?
- 10 **Zellzyklus und Apoptose:** nicht zu viel und nicht zu wenig
- 11 **DNA-Replikation und -Reparatur:** Informationssicherheit
- 12 **Kanzerogenese:** eine Zelle gegen den ganzen Menschen
- 13 **Epigenetik:** Information und Vererbung jenseits der DNA
- 14 **Viren und Bakterien:** Wie funktionieren Krankheitserreger?
- 15 **Gentechnologie:** individualisierte Therapie
- 16 **Immunsystem:** Abwehr von Bedrohungen
- 17 **Prinzipien des Stoffwechsels:** Was geht rein und was geht raus?
- 18 **Mitochondrien:** die Kraftwerke der Zelle
- 19 **Kohlenhydrate:** schnelle Energie und mehr
- 20 **Lipide:** nicht nur Energiespeicher
- 21 **Stickstoffverbindungen:** Moleküle mit vielen Funktionen
- 22 **Biotransformation:** Entgiftung und Giftung
- 23 **Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente:** kleine Mengen mit großer Wirkung
- 24 **Stoffwechselintegration:** Wie passt das alles zusammen?
- 25 **Blut:** ein ganz besonderer Saft
- 26 **Strukturproteine:** Stabilität von Zellen und Geweben
- 27 **Nerven, Sinne, Muskeln:** Informationsübertragung
- 28 **Entwicklung und Alter:** auf der Suche nach der Unsterblichkeit
- 29 **Wissenschaftliches Arbeiten:** Woher kommt Wissen?

Inhaltsverzeichnis

1	Biochemie: Basis aller Lebewesen	1	3.2.4	Reaktionsmechanismus der Serinproteasen ..	57
1.1	Die chemische Evolution	1	3.2.5	Enzymklassifizierung	59
1.1.1	Elemente des Lebens	1	3.2.6	Cosubstrate	60
1.1.2	Wasser als Ursprung des Lebens	2	3.3	Enzymtests	63
1.1.3	Abgrenzung von der Umgebung durch Lipidmembranen	5	3.3.1	Fotometrie	63
1.1.4	Kohlenhydrate als Energielieferanten	9	3.3.2	Bestimmung der Konzentration von Stoffen in Blut oder Urin	64
1.1.5	Informationsspeicherung und Katalyse durch RNA	12	3.3.3	Bestimmung von Enzymen im Blut	64
1.1.6	Katalyse, Transport und Informationsaustausch: Proteine	14	3.3.4	ELISA	65
1.1.7	Verbesserte Informationsspeicherung: DNA ..	15	3.4	Enzymkinetik	65
1.1.8	Die Urzelle	16	3.4.1	Geschwindigkeit enzymatischer Reaktionen ..	65
1.2	Evolution der Prokaryoten	17	3.4.2	Michaelis-Menten-Kinetik	65
1.2.1	Prokaryoten	17	3.4.3	Enzyminhibitoren	68
1.2.2	Bakterien und Archaeen	17	3.5	Isoenzyme	70
1.2.3	Die Sauerstoffkatastrophe	18	3.6	Regulation der Enzymaktivität	70
1.3	Evolution der Eukaryoten	19	3.6.1	Regulationsmechanismen	70
1.3.1	Die Endosymbiontentheorie	19	3.6.2	Allosterie	71
1.3.2	Kompartimente: Arbeitsteilung und Prozessoptimierung	20	3.6.3	Kooperativität	71
1.3.3	Aufbau der eukaryotischen Zelle	20	3.6.4	Phosphorylierung	72
1.4	Entwicklung der Arten	23	3.6.5	Zymogenaktivierung	72
1.4.1	Entstehung mehrzelliger Lebewesen	23	4	Von der DNA zur RNA: Speicherung und Auslesen von Information	75
1.4.2	Die Evolution einzelner Gene und Proteine ...	24	4.1	Zentrales Dogma der Molekularbiologie	75
2	Proteine: Arbeiter der Zelle	27	4.2	Nukleotide und Nukleinsäuren	76
2.1	Aminosäuren und Peptidbindung	27	4.2.1	Nukleotide	76
2.1.1	Proteine enthalten Aminosäuren	27	4.2.2	Nukleinsäuren	78
2.1.2	Aminosäuren sind schwache Säuren	28	4.2.3	Informationsfluss zwischen Nukleinsäuren ...	81
2.1.3	Die proteinogenen Aminosäuren	29	4.3	Chromatin: die DNA-Verpackung	82
2.1.4	Peptidbindung	32	4.4	Das menschliche Genom	84
2.2	Proteinstruktur	33	4.4.1	Aufbau menschlicher Chromosomen	84
2.2.1	Primärstruktur	33	4.4.2	Der Gen-Begriff	85
2.2.2	Sekundärstruktur	34	4.4.3	Allele	86
2.2.3	Tertiärstruktur	36	4.4.4	Repetitive DNA-Sequenzen	87
2.2.4	Quartärstruktur	39	4.5	Genexpression	90
2.3	Proteinfaltung	40	4.5.1	Vom Genotyp zum Phänotyp	90
2.3.1	Native Proteine	40	4.5.2	Transkription	91
2.3.2	Faltungstrichter	40	4.5.3	Regulation der Transkription	98
2.3.3	Chaperone	41	4.5.4	RNA-Prozessierung	101
2.4	Membranproteine	43	5	Translation: von der RNA zum Protein	109
2.5	Bindung von Liganden an Proteine	44	5.1	Ablauf der Translation	109
2.5.1	Funktionen von Proteinen	44	5.2	Die tRNA: der Adapter	111
2.5.2	Cofaktoren	45	5.2.1	Struktur der tRNA	111
2.5.3	Rezeptoren	45	5.2.2	Aktivierung der Aminosäure	112
2.5.4	Transportproteine	46	5.2.3	Veresterung der tRNA mit der Aminosäure ...	112
3	Enzyme: Katalysatoren des Lebens	49	5.3	Der genetische Code	114
3.1	Chemische Reaktionen im Menschen	49	5.4	Die Ribosomen: Maschinen der Translation ..	115
3.1.1	Richtung chemischer Reaktionen	49	5.4.1	Einteilung der Ribosomen	115
3.1.2	Enthalpie	50	5.4.2	Aufbau des prokaryotischen Ribosoms	115
3.1.3	Entropie	50	5.4.3	Aufbau des eukaryotischen Ribosoms	115
3.1.4	Freie Enthalpie	51	5.5	Phasen der eukaryotischen Translation	117
3.1.5	Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsrichtung	51	5.5.1	Initiation	117
3.2	Enzyme als Biokatalysatoren	52	5.5.2	Elongation	119
3.2.1	Reaktionsgeschwindigkeit	52	5.5.3	Termination	122
3.2.2	Aufbau von Enzymen	53	5.6	Die Aminosäure Selenocystein	123
3.2.3	Enzymatische Katalyse	55	5.7	Regulation der Translation	124
			5.7.1	Regulation durch RNA-Interferenz	124
			5.7.2	Regulation in der nicht-translatierten Region am 5'-Ende (5'-UTR)	124

5.7.3	Weitere Regulationsmechanismen	125	8.2.4	Hydrophobe Interaktionschromatografie (HIC)	177
5.8	Translation in Prokaryoten	126	8.2.5	Affinitätschromatografie	178
6	Kompartimente, Proteinsortierung und -modifikationen: der richtige Arbeiter am richtigen Platz	127	8.2.6	Gelfiltration	179
6.1	Lipidzusammensetzung zellulärer Membranen	127	8.3	Elektrophorese	180
6.1.1	Membranlipide	127	8.3.1	Trennung im elektrischen Feld	180
6.1.2	Glycerophospholipide	128	8.3.2	SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese (SDS-PAGE)	180
6.1.3	Sphingophospholipide	129	8.3.3	Serumelektrophorese	182
6.1.4	Glykosphingolipide	130	8.3.4	2-D-Elektrophorese	182
6.1.5	Cholesterin	130	8.4	ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)	182
6.1.6	Asymmetrische Lipidverteilung	130	8.5	Proteinsequenzierung	184
6.2	Eigenschaften zellulärer Membranen	132	8.5.1	Edman-Abbau	184
6.2.1	Dynamik der Membranlipide	132	8.5.2	Massenspektrometrie	184
6.2.2	Fluidität	132	8.6	Strukturbestimmung von Proteinen	186
6.2.3	Mikrodomänen	133	8.6.1	Strukturbiologische Methoden	186
6.3	Proteinsortierung	133	8.6.2	Röntgenkristallografie	186
6.3.1	Mechanismen des Proteintransports	133	8.6.3	Kernresonanzspektroskopie (NMR-Spektroskopie)	188
6.3.2	Proteintransport zwischen Zellkern und Zytoplasma	134	8.6.4	Kryo-Elektronenmikroskopie	188
6.3.3	Proteintransport in das Mitochondrium	138	8.6.5	In-silico-Strukturvorhersage durch künstliche Intelligenz	189
6.3.4	Proteintransport in das Peroxisom	140	8.7	Proteomik	189
6.3.5	Proteintransport im sekretorischen Weg	140	9	Wirkungsweise von Hormonen: Wie wird das alles kontrolliert?	191
6.4	Co- und posttranslationale Modifikationen	153	9.1	Allgemeine Prinzipien der zellulären Kommunikation	192
6.4.1	Kovalente Proteinmodifikationen	153	9.1.1	Kommunikation im biologischen System	192
6.4.2	Glykosylierung	154	9.1.2	Mechanismen der interzellulären Signalvermittlung	192
6.4.3	Phosphorylierung	158	9.2	Hormone und andere Signalmoleküle	193
6.4.4	Carboxylierung	159	9.2.1	Botenstoffgruppen	193
6.4.5	Hydroxylierung	160	9.2.2	Einteilung der Hormone	194
6.4.6	Sulfatierung	160	9.2.3	Einteilung der Zytokine	195
6.4.7	Limitierte Proteolyse	161	9.2.4	Second Messenger	195
6.4.8	Lipidmodifikationen	162	9.3	Speicherung und Freisetzung von Botenstoffen	197
6.4.9	ADP-Ribosylierung	163	9.4	Regulation der Hormonausschüttung	197
7	Proteinabbau: Entsorgung von defekten und nicht mehr benötigten Proteinen	165	9.4.1	Regulationsmechanismen	197
7.1	Konzentration und Halbwertszeit von Proteinen	165	9.4.2	Einfache Regelkreise	197
7.2	Proteasen	166	9.4.3	Hierarchische Hormonachsen	197
7.2.1	Klassifikation	166	9.5	Transport von Hormonen im Blut	199
7.2.2	Serin-, Threonin- und Cysteinproteasen	166	9.6	Rezeptorinitiierte Signalkaskaden	200
7.2.3	Aspartatproteasen	167	9.6.1	Mechanismen der rezeptorinitiierten Signalvermittlung	200
7.2.4	Metalloproteasen	167	9.6.2	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	201
7.2.5	Intramembranproteasen	167	9.6.3	Rezeptor-Tyrosin-Kinasen	205
7.3	Das Proteasom	168	9.6.4	Rezeptorassoziierte Tyrosin-Kinasen	207
7.3.1	Aufbau des Proteasoms	168	9.6.5	Rezeptor-Serin-/Threonin-Kinasen	208
7.3.2	Das Ubiquitin-System	169	9.6.6	Ligandenaktivierte Ionenkanäle	208
7.3.3	Abbau fehlgefalteter Proteine des ER	170	9.6.7	Kernrezeptoren	209
7.4	Lysosomaler Abbau	172	9.6.8	Guanylat-Cyclasen	209
7.5	Autophagozytose	172	9.6.9	Modulation der Signaltransduktion	210
7.6	Schutz vor unkontrollierter Proteaseaktivität	173	9.7	Hormone	211
8	Analyse von Proteinen: Woher weiß man das alles?	175	9.7.1	Stoffwechsel und Energiehaushalt	211
8.1	Aufklärung von Proteinfunktion und -struktur	175	9.7.2	Wasser- und Ionenhaushalt	224
8.2	Chromatografische Trennmethoden	176	9.7.3	Calcium- und Phosphathaushalt	227
8.2.1	Prinzip der Chromatografie	176	9.7.4	Wachstum, Entwicklung und Fortpflanzung ...	230
8.2.2	Säulenchromatografie	176	9.7.5	Regulation des Schlaf-Wach-Rhythmus	237
8.2.3	Ionenaustauschchromatografie	177	9.8	Gewebshormone	237
			9.8.1	Aglanduläre Bildung	237
			9.8.2	Eicosanoide	238

9.8.3	Biogene Amine	240	12.2.3	Umgehen von Wachstumsinhibitoren	294
9.8.4	Kinine	241	12.2.4	Vermeidung von Apoptose	295
9.8.5	Stickstoffmonoxid (NO)	242	12.2.5	Umgehen des Immunsystems	295
9.9	Zytokine	243	12.2.6	Unbegrenzte Teilungsfähigkeit	295
9.9.1	Zytokinrezeptoren	243	12.2.7	Angiogenese und Anpassungen des Stoffwechsels	295
9.9.2	Interleukine	245	12.2.8	Invasives Wachstum und Metastasierung	295
9.9.3	Chemokine	248	12.3	Protoonkogene, Onkogene und Tumorsuppressoren	296
9.9.4	Interferone	249	12.3.1	Antreiber und Bremsen des Zellzyklus	296
9.9.5	Wachstumsfaktoren	250	12.3.2	Aus Protoonkogenen werden Onkogene	298
10	Zellzyklus und Apoptose: nicht zu viel und nicht zu wenig	253	12.3.3	Tumorsuppressoren	301
10.1	Der Zellzyklus	253	12.4	Viren und Bakterien als Karzinogene	305
10.2	M-Phase: Mitose und Zytokinese	254	12.4.1	Tumoviren	305
10.3	Meiose	255	12.4.2	Bakterien als Auslöser von Krebs	307
10.3.1	Ablauf	255	12.5	Tumordiagnostik	307
10.3.2	Homologe Rekombination	256	12.5.1	Tumormarker: biochemische Früherkennung	307
10.4	Regulation der Phasenübergänge im Zellzyklus	258	12.5.2	Bildgebende Verfahren	308
10.4.1	Cycline und Cyclin-abhängige Kinasen	258	12.5.3	Histologische und molekularbiologische Charakterisierung nach Biopsie und Operation	309
10.4.2	Der Übergang von der G1- zur S-Phase	259	12.6	Tumorthherapie	309
10.5	Apoptose: programmierter Zelltod	260	12.6.1	Drei Säulen der Krebstherapie	309
10.5.1	Apoptose versus Nekrose	260	12.6.2	Bestrahlung	311
10.5.2	Funktionen der Apoptose	261	12.6.3	Chemotherapie	311
10.5.3	Caspasen: zentrale Enzyme der Apoptose	261	12.6.4	Zielgerichtete medikamentöse Therapie	312
10.5.4	Auslöser der Apoptose	262	12.6.5	Personalisierte Medizin	314
10.5.5	Das Überleben der Zelle ist ein Balanceakt ...	265	12.6.6	Resistenzentwicklungen	314
11	DNA-Replikation und -Reparatur: Informationssicherheit	267	13	Epigenetik: Information und Vererbung jenseits der DNA	315
11.1	Replikation der DNA	267	13.1	Molekulare Epigenetik	315
11.1.1	Prinzip der DNA-Replikation	267	13.1.1	Definitionen	315
11.1.2	Erkennung der Replikationsstartpunkte	268	13.1.2	DNA-Methylierung: Epigenetik durch DNA-Modifikation	316
11.1.3	Helikase: Trennung der DNA-Doppelhelix in zwei Einzelstränge	269	13.1.3	Chromatin: die epigenetische Informationsplattform	316
11.1.4	Topoisomerase: Verminderung der Torsionsspannung	269	13.1.4	Transkriptionsfaktornetzwerke: Masterregulatoren der Genexpression	320
11.1.5	Synthese der Primer	272	13.1.5	Monoallelische Expression: X-Chromosom-Inaktivierung	320
11.1.6	Synthese der Tochterstränge	272	13.2	Reversibilität: neue Therapien	321
11.1.7	Genauigkeit der Replikation	274	13.3	Prägung durch Umwelteinflüsse	322
11.1.8	Entfernen der Primer und Auffüllen der einzelsträngigen DNA-Abschnitte	275	14	Viren und Bakterien: Wie funktionieren Krankheitserreger?	323
11.1.9	Verknüpfen der Einzelstrangbrüche (Ligation)	276	14.1	Mikroorganismen	323
11.1.10	Telomerase: Erhalt der Chromosomenenden ..	276	14.2	Viren: Aufbau und Vermehrung	324
11.1.11	Vergleich von pro- und eukaryotischer Replikation	278	14.2.1	Größe und Struktur	324
11.2	DNA-Mutationen	279	14.2.2	Erbinformation	324
11.2.1	Mutationsformen	279	14.2.3	Aufbau	324
11.2.2	Ursachen und Entstehung von Mutationen ...	280	14.2.4	Vermehrungszyklus	325
11.3	DNA-Reparatur	284	14.2.5	Influenzaviren	325
11.3.1	Prinzip der DNA-Reparatur	284	14.2.6	Retroviren: humanes Immundefizienzvirus (HIV)	330
11.3.2	Basen-Exzisionsreparatur	285	14.2.7	Coronaviren: SARS-CoV-2	335
11.3.3	Nukleotid-Exzisionsreparatur	286	14.3	Bakterien	340
11.3.4	Mismatch-Reparatur	287	14.3.1	Aufbau und Eigenschaften	340
11.3.5	Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen	288	14.3.2	Das Mikrobiom des menschlichen Körpers ...	341
11.3.6	Direkte Reparatur	290	14.3.3	Bakterien als Krankheitserreger	341
12	Kanzerogenese: eine Zelle gegen den ganzen Menschen	291	14.3.4	Antibiotika	341
12.1	Tumoren	292	14.3.5	Enterohämorrhagische <i>Escherichia coli</i> (EHEC)	344
12.2	Kanzerogenese	293			
12.2.1	Vielschrittprozess	293			
12.2.2	Unabhängigkeit von Wachstumssignalen	293			

15	Gentechnologie: individualisierte Therapie ..	347	17	Prinzipien des Stoffwechsels: Was geht rein und was geht raus?	419
15.1	Gentechnologie in Diagnostik und Therapie	347	17.1	Der menschliche Stoffwechsel	419
15.2	Polymerase-Kettenreaktion (PCR)	348	17.2	Katabolismus	420
15.2.1	Ablauf der PCR	348	17.3	Anabolismus	421
15.2.2	Amplifikation	348	17.4	Redoxäquivalente: Übertragung von Elektronen	422
15.3	Gelelektrophorese von Nukleinsäuren	350	17.4.1	NAD ⁺ /NADH und NADP ⁺ /NADPH	422
15.4	Sequenzierung von DNA	351	17.4.2	FAD/FADH ₂	423
15.5	Next Generation Sequencing	352	17.5	Energiereiche Bindungen	425
15.6	DNA-Chip-Technologien	354	17.6	Grundsätze der Stoffwechselregulation	426
15.7	Der genetische Fingerabdruck	355	17.7	Regulation der Nahrungsaufnahme	427
15.8	Die Ursprünge der Gentechnik	356	17.7.1	Energieumsatz	427
15.8.1	Plasmide	356	17.7.2	Appetitregulation	428
15.8.2	Klonierung mit Restriktionsendonukleasen ..	357	17.7.3	Peptidhormone des Magen-Darm-Trakts	430
15.8.3	Produktion von Proteinen	359			
15.9	Virale Vektoren	360	18	Mitochondrien: Kraftwerke der Zelle	431
15.10	Transgene und Knock-out-Mäuse	362	18.1	Funktion und Aufbau der Mitochondrien	431
15.11	RNA-Interferenz	363	18.2	Citratzyklus: die zentrale Drehscheibe	432
15.12	Genome Editing	364	18.2.1	Citratzyklus im katabolen und anabolen Stoffwechsel	432
15.13	Biomedizinische Datenbanken	366	18.2.2	Funktion des Citratzyklus im katabolen Stoffwechsel	432
16	Immunsystem: Abwehr von Bedrohungen	367	18.2.3	Einzelreaktionen des Citratzyklus	433
16.1	Komponenten des Immunsystems	367	18.2.4	Bilanz des Citratzyklus	438
16.2	Organe und Zellen des Immunsystems	368	18.2.5	Funktion des Citratzyklus im anabolen Stoffwechsel	440
16.3	Angeborene Immunität	368	18.3	Regulation des Citratzyklus	440
16.3.1	Komponenten der angeborenen Immunität	368	18.3.1	Regulation durch die Energieladung	440
16.3.2	Barrieren: mechanische und chemische Abwehr	369	18.3.2	Regulation durch Substratangebot	441
16.3.3	Proteine und andere lösliche Moleküle: biologische Abwehr	370	18.3.3	Hormonelle Regulation	441
16.3.4	Mustererkennung: Was unterscheidet Freund von Feind?	372	18.3.4	Produkthemmung	441
16.3.5	Zellen der angeborenen Immunität	373	18.3.5	Regulation durch Calcium	441
16.3.6	Entzündung	374	18.4	Atmungskette: So entsteht nutzbare Energie	442
16.3.7	Komplementsystem: vielseitiger Helfer	377	18.4.1	Prinzip der Atmungskette	442
16.4	Adaptive Immunität: maßgeschneiderte Abwehr	379	18.4.2	Redoxsysteme der Atmungskette	444
16.4.1	Komponenten der adaptiven Immunität	379	18.4.3	ATP-Synthase	451
16.4.2	Antigene: vielseitige Provokateure	380	18.5	Stofftransport zwischen Mitochondrium und Zytoplasma	452
16.4.3	Antigenpräsentation	381	18.5.1	Carrier und Shuttle	452
16.4.4	Antigenerkennung durch T-Lymphozyten	384	18.5.2	ATP/ADP-Translokator und Phosphat-Carrier	453
16.4.5	T-Zell-Antwort	386	18.5.3	Transport der Redoxäquivalente	454
16.4.6	Antikörper	393	18.6	Energieausbeute der Atmungskette	456
16.4.7	Antigenerkennung durch B-Lymphozyten	396	18.7	Regulation der Atmungskette	456
16.4.8	B-Zell-Antwort	399	18.7.1	Physiologische Regulation der Atmungskette	456
16.4.9	Immunologisches Gedächtnis	404	18.7.2	Kurzschluss: Entkopplung der Atmungskette	457
16.4.10	Monoklonale Antikörper für Diagnostik und Therapie	405			
16.5	Immunsystem des Darms: dauernde Wachsamkeit	406	19	Kohlenhydrate: schnelle Energie und mehr ..	459
16.5.1	Organisation des Immunsystems des Darms	406	19.1	Funktionelle Vielfalt der Kohlenhydrate	459
16.5.2	Angeborene Immunität des Darms	408	19.2	Strukturelle Vielfalt der Kohlenhydrate	460
16.5.3	Adaptive Immunität des Darms	408	19.2.1	Einteilung der Kohlenhydrate	460
16.6	Das überempfindliche Immunsystem: Autoimmunität und Allergien	410	19.2.2	Monosaccharide	460
16.6.1	Autoimmunität: gestörte Toleranz	410	19.2.3	Disaccharide und Oligosaccharide	466
16.6.2	Allergien: Harmlos wird gefährlich	411	19.2.4	Polysaccharide	467
16.6.3	Hyposensibilisierung	415	19.3	Aufnahme von Kohlenhydraten aus der Nahrung	468
16.7	Immuntherapie bei Tumorerkrankungen	415	19.3.1	Verdauung der Kohlenhydrate im Magen-Darm-Trakt	468
16.7.1	Tumorescape	415	19.3.2	Absorption der Kohlenhydrate aus dem Magen-Darm-Trakt	470
16.7.2	Unspezifische Immunstimulation	416			
16.7.3	Immunisierung	416			

19.4	Glykolyse: schnelle Energie aus Glukose	473	21.5.5	Skelettmuskel	596
19.4.1	Prinzipien der Glykolyse	473	21.5.6	Gehirn	597
19.4.2	Reaktionen der Glykolyse	473	21.6	Biogene Amine	597
19.4.3	Regeneration des NAD ⁺ und das Schicksal des Pyruvats	477	21.6.1	Bildung und Funktion biogener Amine	597
19.4.4	Einschleusung der anderen Monosaccharide in die Glykolyse	480	21.6.2	Katecholamine	597
19.4.5	Regulation der Glykolyse und des Pyruvat- Dehydrogenase-Komplexes	483	21.6.3	Tryptamine	598
19.5	Aufrechterhaltung der Blutglukosekonzentration	489	21.6.4	Histamin	599
19.5.1	Glukose im Blut	489	21.6.5	Glutamat und GABA	599
19.5.2	Glukoneogenese	489	21.6.6	Abbau der biogenen Amine	600
19.5.3	Glykogen	496	21.7	Nukleotide: mehr als nur Bausteine der Nukleinsäuren	602
19.6	Glukose als Ausgangspunkt für Synthesen	504	21.7.1	Herkunft der Nukleotide	602
19.6.1	Glykolysezwischenprodukte für Synthesen	504	21.7.2	Hydrolyse von Nukleinsäuren und Absorption der Bausteine	602
19.6.2	Pentosephosphatweg	505	21.7.3	Wiederverwertung	604
19.6.3	Polyolweg	509	21.7.4	Abbau der Nukleotide	605
			21.7.5	Neusynthese von Ribonukleotiden	610
			21.7.6	Synthese von Desoxyribonukleotiden	616
20	Lipide: nicht nur Energiespeicher	511	21.8	Stoffwechsel der Nitroverbindungen	620
20.1	Lipide als Energiespeicher	511	21.9	Hämstoffwechsel	621
20.1.1	Funktionen und Eigenschaften der Lipide	511	21.9.1	Hämvarianten	621
20.1.2	Triacylglycerine als Speicherform der Lipide	512	21.9.2	Hämbiosynthese	621
20.1.3	Verdauung und Absorption der Triacylglycerine	515	21.9.3	Hämabbau	623
20.1.4	Synthese der Triacylglycerine	522	21.10	Kreatin	626
20.1.5	Transport der TAG mittels Lipoproteinen	524	21.11	Weitere wichtige Amine	626
20.1.6	Speicherung von TAG in Adipozyten	531	21.11.1	Cholin	626
20.1.7	Fettsäurebiosynthese	532	21.11.2	Betain	627
20.1.8	Mobilisierung der Lipidspeicher	537	21.11.3	Carnitin	627
20.1.9	Ketonkörper	546			
20.2	Lipide als Signalmoleküle	548	22	Biotransformation: Entgiftung und Giftung	629
20.2.1	Cholesterin und sein Stoffwechsel	548	22.1	Metabolisierung von Eigen- und Fremdstoffen	629
20.2.2	Funktion und Synthese der Fettsäurederivate	557	22.2	Phase-I-Reaktion (Umwandlungsphase)	630
20.3	Lipide als Bausteine von Membranen	561	22.2.1	Cytochrom-P450-Enzyme	630
20.3.1	Membranbiosynthese	561	22.2.2	Weitere Beispiele für Phase-I-Enzyme	631
20.3.2	Absorption und Abbau von Membranlipiden	565	22.3	Phase-II-Reaktionen (Konjugationsphase)	632
			22.3.1	Konjugation mit Glukuronsäure	632
21	Stickstoffverbindungen: Moleküle mit vielen Funktionen	569	22.3.2	Konjugation mit Glutathion	633
21.1	Stickstoff im Menschen: Stickstoffbilanz	570	22.3.3	Konjugation mit Sulfatgruppen	634
21.2	Aminosäurestoffwechsel	571	22.3.4	N-Acetylierung, Methylierung und Konjugation mit Glycin	635
21.2.1	Proteinverdauung und Aminosäureabsorption	571	22.4	Induzierbarkeit von Phase-I- und Phase-II- Enzymen	635
21.2.2	Pyridoxalphosphat	574			
21.3	Abbau der Aminosäuren	575	23	Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente: kleine Mengen mit großer Wirkung	637
21.3.1	Entsorgung der Aminogruppe	575	23.1	Vitamine	637
21.3.2	Reaktionen des Harnstoffzyklus	579	23.2	Fettlösliche Vitamine	638
21.3.3	Ausscheidung von Aminogruppen durch die Niere	583	23.2.1	Absorption und Transport	638
21.3.4	Abbau der C-Gerüste der Aminosäuren	584	23.2.2	Vitamin A: Retinoide	638
21.4	Aminosäuresynthese	592	23.2.3	Vitamin D: Calciferole	641
21.4.1	Essenzielle Aminosäuren	592	23.2.4	Vitamin E: Tocopherol	643
21.4.2	Bedingt essenzielle Aminosäuren	593	23.2.5	Vitamin K: Phyllochinone	644
21.4.3	Biosynthese der nicht-essenziellen Aminosäuren	593	23.3	Wasserlösliche Vitamine	644
21.5	Organspezifischer Aminosäurestoffwechsel	595	23.3.1	Transport	644
21.5.1	Hormonelle Regulation des Aminosäurestoffwechsels	595	23.3.2	Vitamin B ₁ (Thiamin)	644
21.5.2	Dünndarm	595	23.3.3	Vitamin B ₂ (Riboflavin)	646
21.5.3	Leber	596	23.3.4	Niacin	647
21.5.4	Niere	596	23.3.5	Vitamin B ₅ (Pantothersäure)	648
			23.3.6	Vitamin B ₆ (Pyridoxin)	649
			23.3.7	Vitamin B ₇ (Biotin)	649
			23.3.8	Vitamin B ₉ (Folsäure)	650
			23.3.9	Vitamin B ₁₂ (Cobalamin)	652
			23.3.10	Vitamin C (Ascorbinsäure)	654

23.4 Mineralstoffe und Elektrolyte	656	25.2.5 Hämostase	706
23.4.1 Elektrolyt- und Wasserhaushalt	656	25.3 Plasma und Plasmaproteine	706
23.4.2 Calcium	657	25.3.1 Blutplasma	706
23.4.3 Phosphor	657	25.3.2 Plasmaproteine	707
23.4.4 Natrium	658	25.4 Zelluläre Bestandteile	709
23.4.5 Kalium	659	25.5 Gastransport im Blut	710
23.4.6 Chlor	659	25.5.1 Sauerstofftransport	710
23.4.7 Schwefel	659	25.5.2 Transport von Kohlendioxid	715
23.4.8 Hydrogencarbonat	660	25.6 Hämostase: Beendigung einer Blutung	715
23.4.9 Magnesium	660	25.6.1 Phasen der Hämostase	715
23.5 Spurenelemente	660	25.6.2 Primäre Hämostase	716
23.5.1 Essenzielle und nicht-essenzielle Spurenelemente	660	25.6.3 Sekundäre Hämostase: Blutgerinnung	718
23.5.2 Eisen	662	25.6.4 Fibrinolyse	724
23.5.3 Iod	665	26 Strukturproteine:	
23.5.4 Zink	666	Stabilität von Zellen und Geweben	727
23.5.5 Kupfer	667	26.1 Zytoskelett und extrazelluläre Matrix	727
23.5.6 Selen	667	26.2 Zytoskelett: Stabilität in der Zelle	727
23.5.7 Cobalt, Mangan, Molybdän	668	26.2.1 Aktinfilamente: Mikrofilamente	728
24 Stoffwechselintegration:		26.2.2 Mikrotubuli: Makrofilamente	729
Wie passt das alles zusammen?	669	26.2.3 Intermediärfilamente	730
24.1 Energiespeicherung	669	26.3 Extrazelluläre Matrix: Stabilität und Elastizität	731
24.2 Ein metabolischer Tag	670	26.3.1 Komponenten der extrazellulären Matrix	731
24.2.1 Speicherung am Tag, Speicherabbau in der Nacht	670	26.3.2 Kollagen: Zugstabilität	731
24.2.2 Postabsorptiver Stoffwechsel: Glukose fürs Gehirn, Fettsäuren für die Peripherie	670	26.3.3 Elastin: Zugelastizität	733
24.2.3 Postprandialer Stoffwechsel: Auffüllen der Speicher, Energie aus Glukose	673	26.3.4 Glykosaminoglykane: Druckelastizität	733
24.2.4 Nährstoffe im Blut: ein Tagesprofil	676	26.3.5 Hydroxylapatit: Druckstabilität	735
24.3 Überernährung: TAG-Speicherung	677	26.4 Zellinteraktionen: Stabilität von Zellverbänden	736
24.4 Hungerstoffwechsel: Ketonkörper und Glukose fürs Gehirn, Fettsäuren für Leber und Peripherie	678	26.4.1 Zell-Zell-Interaktionen	736
24.4.1 Umstellung auf den adaptierten Hungerstoffwechsel	678	26.4.2 Zell-Matrix-Interaktionen	739
24.4.2 Stoffwechsel bei eingeschränkter Kohlenhydrat- oder Lipidzufuhr	681	26.5 Blut-Hirn- und Blut-Liquor-Schranke	740
24.5 Insulinmangel	682	26.5.1 Blut-Hirn-Schranke	740
24.5.1 Diabetes mellitus	682	26.5.2 Blut-Liquor-Schranke	743
24.5.2 Diabetes Typ 1: absoluter Insulinmangel	682	27 Nerven, Sinne, Muskeln:	
24.5.3 Diabetes mellitus Typ 2: Insulinresistenz	687	Informationsübertragung	745
24.5.4 Langzeitschäden bei Diabetes mellitus	691	27.1 Nervenreizleitung:	
24.6 Muskelaktivität	692	schnelle Informationsweiterleitung	745
24.6.1 Energiequellen des Muskels	692	27.1.1 Afferente und efferente Signalübertragung	745
24.6.2 100-m-Sprint: Kreatinphosphat	693	27.1.2 Nervenzellen (Neurone)	745
24.6.3 400-m-Lauf: anaerobe Glykolyse	694	27.1.3 Informationsweiterleitung innerhalb einer Nervenzelle	746
24.6.4 1000–10 000-m-Lauf: aerobe Glukoseoxidation	695	27.1.4 Zell-Zell-Kommunikation über Synapsen	748
24.6.5 Ausdauerleistung: aerobe Glukose- und Fettsäureoxidation	696	27.2 Sehen, Riechen, Schmecken:	
24.7 Ethanolstoffwechsel	698	Wie nehmen wir Umweltreize wahr?	750
24.7.1 Ethanolabbau	698	27.2.1 Sinnesmodalitäten	750
24.7.2 Akute Alkoholintoxikation	700	27.2.2 Sehen	750
24.7.3 Chronisch erhöhte Alkoholzufuhr	701	27.2.3 Riechen	753
25 Blut: ein ganz besonderer Saft	705	27.2.4 Schmecken	754
25.1 Bestandteile des Bluts	705	27.3 Muskulatur	754
25.2 Funktionen des Bluts	706	27.3.1 Aufbau der Muskulatur	754
25.2.1 Puffersystem	706	27.3.2 Kontraktion der Muskulatur	756
25.2.2 Transportsystem	706	27.3.3 Neuromuskuläre Erregungsübertragung an der Skelettmuskulatur	757
25.2.3 Immunabwehr	706	28 Entwicklung und Alter: auf der Suche nach der Unsterblichkeit	759
25.2.4 Temperaturregulation	706	28.1 Zelluläre Grundlagen der Entwicklung	759
		28.1.1 Grundzüge der Embryonalentwicklung	759
		28.1.2 Regulation der Zellproliferation und -differenzierung	762

28.2	Altern	764	29.2	Praxis	783
28.2.1	Mechanismen des Alterns	764	29.2.1	Messen	783
28.2.2	Neurodegenerative Erkrankungen	769	29.2.2	Gute wissenschaftliche Praxis	787
28.2.3	Kalorienrestriktion: eine Strategie zur Lebensverlängerung?	775	29.3	Publizieren	788
29	Wissenschaftliches Arbeiten:		29.3.1	Wissenschaftlichkeit durch Publikation	788
	Woher kommt Wissen?	779	29.3.2	Peer-Review	788
29.1	Prinzipien	779	29.3.3	Typischer Aufbau wissenschaftlicher Publikationen	789
29.1.1	Die naturwissenschaftliche Methode	779	29.3.4	Gute Praxis des wissenschaftlichen Publizierens	791
29.1.2	Experiment und Beobachtung	780	29.3.5	Glanz und Elend wissenschaftlicher Veröffentlichungen	791
29.1.3	Korrelation und Kausalität	780			
29.1.4	Objektivität, Konsistenz und Universalität	781	Anhang		793
29.1.5	Hypothesen, Theorien und Beweise	781	Lösungen		795
29.1.6	Paradigmen, Wissenschaftsgemeinschaft und Redlichkeit	782	Register		807
29.1.7	Forschungs- und Lehrbuchwissen	782			
29.1.8	Gesellschaft und Verantwortung	783			