

# Auf einen Blick

## A Biochemie des Energiestoffwechsels

- 1 Der Energiestoffwechsel im Überblick – S. 4
- 2 Die biochemisch relevanten Stoffklassen – S. 10
- 3 Triebkraft und Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen – S. 18
- 4 Molekulare Struktur von Kohlenhydraten, Triacylglycerinen, Aminosäuren – S. 36
- 5 Die wichtigsten biochemischen Funktionsträger: Proteine – S. 64
- 6 Abbau der Kohlenhydrate zu Pyruvat bzw. Lactat – S. 74
- 7 Oxidativer Abbau von Pyruvat: Pyruvat-Dehydrogenase und Citratzyklus – S. 103
- 8 Abbau von Triacylglycerinen und Ketonkörpern – S. 123
- 9 Abbau von Proteinen und Aminosäuren – S. 142
- 10 ATP-Synthese durch oxidative Phosphorylierung – S. 164
- 11 Ernährung und Verdauung – S. 184
- 12 Speicherung und Bereitstellung von Kohlenhydraten – S. 201
- 13 Die Bereitstellung von Fettsäuren, Triacylglycerinen und Ketonkörpern – S. 221
- 14 Proteine als Nahrungsmittel – S. 253
- 15 Regulation des Energiestoffwechsels – S. 260
- 16 Vitamine – S. 272
- 17 Spurenelemente – S. 306

## B Molekulare Zellbiologie

- 1 Einführung in die Molekulare Zellbiologie – S. 322
- 2 Überblick über die Organisation der Zelle und ihrer Umgebung – S. 326
- 3 Aufbau biologischer Membranen – S. 331
- 4 Funktion biologischer Membranen – S. 350
- 5 Zellorganellen – S. 363
- 6 Zytoskelett – S. 382
- 7 Extrazelluläre Matrix – S. 396
- 8 Nukleotide – S. 412
- 9 Nukleinsäuren (Polynukleotide) – S. 428
- 10 Zentrales Dogma der Molekularbiologie – S. 434
- 11 Replikation der DNA – S. 436
- 12 Genexpression – S. 443
- 13 Gentechnik und Nachweis bzw. Analyse von Nukleinsäuren – S. 481
- 14 Mutationen und DNA-Reparatur – S. 501
- 15 Der Zellzyklus – S. 512
- 16 Die Apoptose – S. 517
- 17 Molekulare Onkologie – S. 522
- 18 Grundlagen der zellulären Kommunikation – S. 536
- 19 Mechanismen der Signaltransduktion – S. 544
- 20 Hormone – S. 566
- 21 Mediatoren – S. 627
- 22 Zytokine – S. 645
- 23 Biochemie des Blutes – S. 652
- 24 Biochemie der Leber – S. 669
- 25 Biochemie der Niere – S. 676
- 26 Reaktionen auf die Umwelt: Die Unterscheidung von Selbst und Fremd im Immunsystem – S. 692
- 27 Reaktionen auf Verwundungen: Blutstillung und Blutgerinnung – S. 736
- 28 Reaktionen auf Fremdstoffe: Entgiftung – S. 756
- 29 Neurochemie – S. 763
- 30 Ausblick – S. 806

# Inhalt

Die Autoren .....	XXVII
-------------------	-------

## Teil A – Biochemie des Energiestoffwechsels

### A I Eine Einführung in die Biochemie

<b>1</b>	<b>Der Energiestoffwechsel im Überblick .....</b>	<b>4</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>1.1</b>	<b>Woher stammt die Energie für Lebensprozesse? .....</b>	<b>4</b>
1.1.1	Die Bedeutung der energetischen Kopplung .....	4
1.1.2	Die Bedeutung des ATP als Energieträger .....	4
<b>1.2</b>	<b>Wie entsteht ATP? .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>Woher stammt die Energie für die ATP-Synthese? .....</b>	<b>7</b>
1.3.1	Ein Protonenfluss als Energiequelle der ATP-Synthase .....	8
1.3.2	Die Atmungskette als Protonenpumpe .....	8
1.3.3	Die Herkunft der Elektronen der Atmungskette .....	8
<b>2</b>	<b>Die biochemisch relevanten Stoffklassen – eine erste Einführung .....</b>	<b>10</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>2.1</b>	<b>Aminosäuren, Peptide und Proteine .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Kohlenhydrate .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Lipide und Fettsäuren .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Weitere Stoffklassen .....</b>	<b>15</b>

### A II Wichtige chemische und molekulare Grundlagen

<b>3</b>	<b>Triebkraft und Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen .....</b>	<b>18</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>3.1</b>	<b>Die Triebkraft biochemischer Reaktionen .....</b>	<b>18</b>
3.1.1	Die Bedeutung der Freien Energie .....	19
3.1.2	Die Bedeutung des chemischen Gleichgewichts .....	19
3.1.3	Was geschieht bei Annäherung an das chemische Gleichgewicht mit der Freien Energie? .....	22
3.1.4	Die Bedeutung der Entropie .....	22
<b>3.2</b>	<b>Die Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen .....</b>	<b>23</b>
3.2.1	Prinzipien der chemischen Reaktionskinetik .....	23
3.2.2	Enzyme als Katalysatoren biochemischer Reaktionen .....	25
	Die Funktion der Enzyme .....	25
	Die Bedeutung der katalytischen Zentren .....	26
3.2.3	Enzymkinetik .....	27
	Die maximale Reaktionsgeschwindigkeit $v_{\max}$ .....	27
	Die Michaelis-Menten-Konstante $K_m$ .....	28
	Die Michaelis-Menten-Gleichung .....	30
	Das Lineweaver-Burk-Diagramm .....	30
	Die katalytische Aktivität .....	31
	Die Wechselzahl .....	31

Enzymhemmung .....	32
Allosterische Effekte .....	34
<b>4 Die molekulare Struktur der wichtigsten Nahrungsstoffe: Kohlenhydrate, Triacylglycerine und Aminosäuren .....</b>	<b>36</b>
<i>J. Rassow</i>	
<b>4.1 Kohlenhydrate .....</b>	<b>36</b>
4.1.1 Struktur und Einteilung .....	36
Monosaccharide .....	36
Di-, Oligo- und Polysaccharide .....	41
Verbindungen von Kohlenhydraten mit Peptiden und Proteinen ...	43
4.1.2 Funktion der Kohlenhydrate im Energiestoffwechsel .....	46
<b>4.2 Triacylglycerine (TAG) .....</b>	<b>47</b>
4.2.1 Struktur .....	47
4.2.2 Funktion der TAG im Energiestoffwechsel .....	51
<b>4.3 Aminosäuren .....</b>	<b>51</b>
4.3.1 Grundstruktur und Eigenschaften .....	51
4.3.2 Die proteinogenen Aminosäuren .....	54
Die charakteristischen Aminosäurereste und ihre biochemische Relevanz .....	54
Nichtessenzielle und essenzielle proteinogene Aminosäuren .....	58
4.3.3 Der Sonderfall Selenocystein .....	60
4.3.4 Nichtproteinogene Aminosäuren .....	60
4.3.5 Funktion im Energiestoffwechsel .....	61
<b>5 Die wichtigsten biochemischen Funktionsträger: Proteine .....</b>	<b>64</b>
<i>J. Rassow</i>	
<b>5.1 Grundlagen .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 Die Peptidbindung .....</b>	<b>64</b>
<b>5.3 Proteinstrukturen .....</b>	<b>65</b>
5.3.1 Primärstruktur .....	66
5.3.2 Sekundärstruktur .....	67
Grundlagen .....	67
$\alpha$ -Helix .....	67
$\beta$ -Faltblatt .....	68
Schleife .....	69
5.3.3 Tertiär- und Quartärstruktur .....	70
Stabilisierung der Tertiärstruktur .....	70
<b>A III Entleerung der Energiespeicher</b>	
<b>6 Abbau der Kohlenhydrate zu Pyruvat bzw. Lactat ..</b>	<b>74</b>
<i>J. Rassow</i>	
<b>6.1 Die Glykolyse .....</b>	<b>74</b>
6.1.1 Grundlagen .....	74
6.1.2 Die einzelnen Reaktionsschritte der Glykolyse .....	74
Energiebilanz .....	81
Reversible und irreversible Schritte .....	82
Was wird aus dem Pyruvat? .....	83

6.1.3	Die Regulation der Glykolyse .....	84
	Schlüsselenzyme .....	84
	Bedeutung und Regulation von Hexokinase und Glucokinase .....	85
	Bedeutung und Regulation der Phosphofructokinase-1 .....	86
	Regulation der Pyruvat-Kinase .....	89
6.2	<b>Reduktion und Oxidation von Pyruvat</b> .....	90
6.2.1	Reduktion von Pyruvat zu Lactat (Laktatgärung) .....	90
	Die Lactat-Dehydrogenase (LDH) .....	92
	Der weitere Abbau des Lactats .....	92
6.2.2	Oxidativer Abbau von Pyruvat (s. Kap. A-7) .....	93
6.3	<b>Abbau von Glykogen</b> .....	93
6.3.1	Einführung .....	93
6.3.2	Der Glykogenabbau .....	93
	Abbau an freien Glykogen-Enden .....	93
	Abbau an Verzweigungsstellen .....	94
6.3.3	Die Regulation des Glykogenabbaus .....	96
6.4	<b>Abbau der Stärke</b> .....	97
6.5	<b>Abbau der Fructose</b> .....	97
6.6	<b>Abbau der Galaktose</b> .....	99

## 7    **Oxidativer Abbau von Pyruvat: Die Reaktionen der Pyruvat-Dehydrogenase und des Citratzyklus** ..... 103

*J. Rassow*

7.1	<b>Einführung</b> .....	103
7.2	<b>Die Pyruvat-Dehydrogenase (PDH)</b> .....	104
7.2.1	Grundlagen .....	104
7.2.2	Der Aufbau der Pyruvat-Dehydrogenase .....	104
7.2.3	Die einzelnen Reaktionsschritte .....	106
	Bilanz .....	108
7.2.4	Die Regulation der Pyruvat-Dehydrogenase .....	109
7.3	<b>Der Citratzyklus</b> .....	110
7.3.1	Grundlagen .....	110
	Funktionen des Citratzyklus .....	110
	Die Substratspezifität der Dehydrogenasen: ein Schlüssel zum Verständnis des Citratzyklus .....	111
7.3.2	Die einzelnen Reaktionsschritte .....	113
7.3.3	Energieausbeute des Citratzyklus .....	120
7.3.4	Regulation des Citratzyklus .....	120
7.3.5	Auffüllung des Citratzyklus: Anaplerotische Reaktionen .....	121

## 8    **Abbau von Triacylglycerinen und Ketonkörpern** ... 123

*J. Rassow*

8.1	<b>Grundlagen</b> .....	123
8.2	<b>Physiologische Bedeutung</b> .....	123
8.2.1	Triacylglycerine (TAG) .....	123
	Speicherorte der TAG .....	124
	TAG im Vergleich mit Glykogen .....	125
8.2.2	Ketonkörper .....	125
8.3	<b>Hydrolyse von Triacylglycerinen durch Lipasen</b> .....	125
8.4	<b>Was wird aus den Hydrolyseprodukten Glycerin und Fettsäuren?</b> ..	128
8.4.1	Abbau von Glycerin .....	128
8.4.2	Abbau der Fettsäuren ( $\beta$ -Oxidation) .....	128
	Grundlagen .....	128
	Import der Fettsäuren in die Mitochondrien .....	130
	$\beta$ -Oxidation gesättigter, geradzahlgiger Fettsäuren .....	131
	$\beta$ -Oxidation ungesättigter Fettsäuren .....	133

	$\beta$ -Oxidation ungeradzahliger Fettsäuren .....	134
	$\beta$ -Oxidation in Peroxisomen .....	135
	Energiebilanz .....	136
	Regulation der $\beta$ -Oxidation .....	137
<b>8.5</b>	<b>Abbau von Ketonkörpern .....</b>	<b>137</b>
<b>9</b>	<b>Abbau von Proteinen und Aminosäuren .....</b>	<b>142</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>9.1</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>142</b>
<b>9.2</b>	<b>Transport von Stickstoff im Blut: Alanin, Glutamin und Harnstoff ..</b>	<b>142</b>
<b>9.3</b>	<b>Der Harnstoffzyklus .....</b>	<b>145</b>
9.3.1	Grundlagen .....	145
9.3.2	Die einzelnen Reaktionsschritte .....	146
9.3.3	Energiebilanz .....	149
9.3.4	Was wird aus dem Fumarat? .....	149
9.3.5	Regulation des Harnstoffzyklus .....	149
<b>9.4</b>	<b>Abspaltung von Aminogruppen durch Transaminierung und Desaminierung .....</b>	<b>150</b>
9.4.1	Transaminierung .....	150
9.4.2	Desaminierung .....	152
	Oxidative Desaminierung von Glutamat .....	152
	Hydrolytische Desaminierung von Glutamin und Asparagin .....	153
	Eliminierende Desaminierung von Serin, Threonin und Cystein ....	153
<b>9.5</b>	<b>Wege des Kohlenstoffs im Abbau der Aminosäuren .....</b>	<b>154</b>
9.5.1	Grundlagen: glucogene und ketogene Aminosäuren .....	154
	Abbau zu Pyruvat und Metaboliten des Citratzyklus .....	154
	Abbau zu Acetyl-CoA .....	154
9.5.2	Abbau der einzelnen Aminosäuren .....	155
<b>9.6</b>	<b>Wichtige Produkte des Aminosäureabbaus .....</b>	<b>161</b>
9.6.1	Aminosäure-Abbauprodukte mit Mediatorfunktion: Biogene Amine	161
9.6.2	S-Adenosylmethionin als Überträger von Methylgruppen .....	161

## A IV Die mitochondriale ATP-Synthese

<b>10</b>	<b>ATP-Synthese durch oxidative Phosphorylierung ..</b>	<b>164</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>10.1</b>	<b>Einführung: Mechanismen der ATP-Synthese im Stoffwechsel .....</b>	<b>164</b>
<b>10.2</b>	<b>Die ATP-Synthase .....</b>	<b>164</b>
<b>10.3</b>	<b>Die Atmungskette .....</b>	<b>166</b>
10.3.1	Einführung .....	166
10.3.2	Die Komponenten der Atmungskette .....	168
	Komplex I .....	168
	Das Coenzym Ubichinon .....	170
	Komplex II .....	171
	Die ETF-Ubichinon-Oxidoreduktase .....	172
	Die Glycerin-3-phosphat-Dehydrogenase .....	173
	Komplex III und der Q-Zyklus .....	173
	Cytochrom c .....	174
	Komplex IV .....	174
10.3.3	Die Redoxpotenziale der Atmungskette .....	176
<b>10.4</b>	<b>Import und Export von Metaboliten über die Mitochondrien- membran .....</b>	<b>177</b>
<b>10.5</b>	<b>Transport von Reduktionsäquivalenten über die mitochondriale Innenmembran .....</b>	<b>178</b>

10.5.1	Glycerin-3-phosphat-Shuttle	179
10.5.2	Malat-Aspartat-Shuttle	179
10.5.3	Vergleich beider Shuttle-Systeme	179
10.6	<b>Entkoppler des OXPHOS-Systems</b>	<b>180</b>
10.6.1	Der physiologische Entkoppler Thermogenin	180
10.6.2	Toxische Entkoppler	181
10.7	<b>Angeborene Defekte des OXPHOS-Systems</b>	<b>181</b>
10.8	<b>Bakterielle Atmungsketten</b>	<b>182</b>

## A V Auffüllung der Energiespeicher

11	<b>Ernährung und Verdauung</b>	<b>184</b>
	<i>J. Rassow</i>	
11.1	<b>Ernährung</b>	<b>184</b>
11.1.1	Zusammensetzung der Nahrung	184
11.1.2	Parenterale Ernährung	186
11.1.3	Energiegehalt der Nahrung	186
	Der tägliche Energieumsatz	186
	Bestimmung des Energiegehalts der Nahrung	187
11.2	<b>Verdauung</b>	<b>188</b>
11.2.1	Überblick	188
11.2.2	Die Verdauungssekrete	189
11.2.3	Verdauung der Nahrungsbestandteile	200
12	<b>Speicherung und Bereitstellung von Kohlenhydraten</b>	<b>201</b>
	<i>J. Rassow</i>	
12.1	<b>Aufnahme der Kohlenhydrate aus der Nahrung</b>	<b>201</b>
12.1.1	Wichtige Kohlenhydrate in der Nahrung	201
12.1.2	Verdauung der Kohlenhydrate	201
	$\alpha$ -Amylase in Speichel und Pankreassaft	201
	Enzyme im Bürstensaum der Enterozyten	202
12.1.3	Resorption der Kohlenhydrate im Darm	203
12.1.4	Transport in Hepatozyten	204
12.1.5	Transport der Glucose in die Zellen extrahepatischer Gewebe	204
	Transport in Skelettmuskel- und Fettzellen	204
	Transport in die Zellen des ZNS und in Erythrozyten	205
	Rückresorption der Glucose in den Nierentubuluszellen	205
12.2	<b>Glykogensynthese</b>	<b>206</b>
12.2.1	Mechanismus der Glykogensynthese	206
	Einbau von Glucose in Glykogenmoleküle	206
	Neubildung von Glykogen	208
12.2.2	Regulation der Glykogensynthese	209
	Regulation bei steigendem Bedarf an Glucose	210
	Regulation bei Überangebot an Glucose	210
12.3	<b>Gluconeogenese</b>	<b>212</b>
12.3.1	Funktion der Gluconeogenese im Stoffwechsel	212
12.3.2	Ort der Gluconeogenese	212
12.3.3	Mechanismus der Gluconeogenese	213
	Reaktionsschritte	213
	Energiebilanz	217
12.3.4	Ausgangsstoffe der Gluconeogenese	218
12.3.5	Regulation der Gluconeogenese	219
	Allosterische Regulation	219
	Hormonelle Regulation	219

<b>13</b>	<b>Die Bereitstellung von Fettsäuren, Triacylglycerinen und Ketonkörpern</b>	<b>221</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>13.1</b>	<b>Überblick</b>	<b>221</b>
<b>13.2</b>	<b>Aufnahme der Lipide aus der Nahrung</b>	<b>221</b>
13.2.1	Verdauung der Lipide	221
13.2.2	Resorption der Lipid-Hydrolyseprodukte	223
<b>13.3</b>	<b>Fettsäuresynthese</b>	<b>225</b>
13.3.1	Bereitstellung von Acetyl-CoA	226
13.3.2	Mechanismus der Fettsäuresynthese	227
	Prinzip	227
	Die Acetyl-CoA-Carboxylase als Schrittmacherenzym der Fettsäuresynthese	227
	Der Reaktionszyklus der Fettsäuresynthese	228
	Freisetzung der synthetisierten Fettsäure	230
	Energiebilanz	231
	Physiologische Funktionen der Fettsäuren	232
13.3.3	Regulation der Fettsäuresynthese	232
13.3.4	Bildung ungesättigter Fettsäuren	233
<b>13.4</b>	<b>Woher stammt das NADPH für die Fettsäuresynthese?</b>	<b>233</b>
13.4.1	Das Malat-Enzym als Quelle von NADPH für die Fettsäuresynthese	234
13.4.2	Der Pentosephosphatweg	234
	Grundlagen	234
	Reaktionsschritte des Pentosephosphatweges	236
	Regulation	239
<b>13.5</b>	<b>Lipogenese: Biosynthese der Triacylglycerine (TAG)</b>	<b>240</b>
13.5.1	Reaktionsschritte der TAG-Synthese	240
13.5.2	Regulation der TAG-Synthese	241
<b>13.6</b>	<b>Ketonkörpersynthese (Ketogenese)</b>	<b>242</b>
13.6.1	Grundlagen	242
13.6.2	Die Reaktionen der Ketonkörpersynthese	243
<b>13.7</b>	<b>Lipoproteine: Transport von Lipiden im Blut</b>	<b>244</b>
13.7.1	Aufbau und Einteilung	244
13.7.2	Der Stoffwechsel der Lipoproteine	245
	Chylomikronen	245
	VLDL (very low density lipoproteins)	246
	LDL (low density lipoproteins)	247
	HDL (high density lipoproteins)	249

## **14 Proteine als Nahrungsmittel** **253**

*J. Rassow*

<b>14.1</b>	<b>Verdauung der Proteine</b>	<b>253</b>
14.1.1	Hydrolyse der Proteine durch Proteasen	253
14.1.2	Resorption der Hydrolyseprodukte	254
<b>14.2</b>	<b>Proteasen und ihre Reaktionsmechanismen</b>	<b>255</b>
14.2.1	Vorkommen und Aufgaben der Proteasen	255
14.2.2	Reaktionsmechanismen	256
	Serin-Proteasen	256
	Metall-abhängige Proteasen	257
14.2.3	Proteaseinhibitoren	257

## A VI Regulation des Energiestoffwechsels

<b>15</b>	<b>Regulation des Energiestoffwechsels</b> .....	<b>260</b>
	<i>J. Rassow</i>	
15.1	Regulation bei kurzfristig erhöhtem Energiebedarf .....	260
15.2	Regulation bei Ausdauerleistungen .....	262
15.3	Regulation bei Nahrungsmangel .....	263
15.4	Regulation im Anschluss an eine Mahlzeit .....	267

## A VII Prothetische Gruppen und Cofaktoren im Energiestoffwechsel

<b>16</b>	<b>Vitamine</b> .....	<b>272</b>
	<i>K. Hauser</i>	
16.1	<b>Grundlagen</b> .....	<b>272</b>
16.1.1	Vitaminbedarf .....	272
16.1.2	Vitaminosen .....	272
	Hypo- und Avitaminosen .....	272
	Hypervitaminosen .....	273
16.1.3	Einteilung der Vitamine .....	273
16.2	<b>Fettlösliche Vitamine</b> .....	<b>274</b>
16.2.1	Retinol – Vitamin A .....	274
16.2.2	Calciferole – Vitamin D .....	277
16.2.3	Tocopherol – Vitamin E .....	279
16.2.4	Phyllochinon – Vitamin K .....	281
16.3	<b>Wasserlösliche Vitamine</b> .....	<b>283</b>
16.3.1	Thiamin – Vitamin B <sub>1</sub> .....	283
16.3.2	Riboflavin – Vitamin B <sub>2</sub> .....	285
16.3.3	Niacin .....	287
16.3.4	Pyridoxin – Vitamin B <sub>6</sub> .....	290
16.3.5	Pantothensäure .....	292
16.3.6	Folsäure .....	293
16.3.7	Cobalamin – Vitamin B <sub>12</sub> .....	298
16.3.8	Biotin .....	301
16.3.9	Ascorbinsäure – Vitamin C .....	303
<b>17</b>	<b>Spurenelemente</b> .....	<b>306</b>
	<i>K. Hauser</i>	
17.1	<b>Grundlagen</b> .....	<b>306</b>
17.1.1	Einteilung der Spurenelemente .....	306
17.1.2	Bedarf an Spurenelementen .....	306
17.2	<b>Die einzelnen Spurenelemente</b> .....	<b>307</b>
17.2.1	Eisen .....	307
17.2.2	Kupfer .....	311
17.2.3	Zink .....	313
17.2.4	Mangan .....	314
17.2.5	Cobalt .....	315
17.2.6	Fluor .....	315
17.2.7	Iod .....	316
17.2.8	Selen .....	316
17.2.9	Molybdän .....	316
17.2.10	Chrom .....	317
17.2.11	Cadmium, Blei, Quecksilber .....	317



# Teil B – Molekulare Zellbiologie

## B I Einführung in die Molekulare Zellbiologie

<b>1</b>	<b>Einführung in die Molekulare Zellbiologie</b> .....	<b>322</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>1.1</b>	<b>Einführung in die Molekulare Zellbiologie</b> .....	<b>323</b>

## B II Die strukturelle Organisation der Zelle und ihre Umgebung

<b>2</b>	<b>Überblick über die Organisation der Zelle</b> .....	<b>326</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>2.1</b>	<b>Aufbau der Prokaryontenzelle</b> .....	<b>326</b>
<b>2.2</b>	<b>Aufbau der Eukaryontenzelle</b> .....	<b>327</b>
<b>2.2.1</b>	Besonderheiten in mehrzelligen Organismen .....	328
<b>2.2.2</b>	Vorteile der Kompartimentierung .....	328
<b>2.3</b>	<b>Fraktionierung von Zellen</b> .....	<b>328</b>
<b>3</b>	<b>Aufbau biologischer Membranen</b> .....	<b>331</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>3.1</b>	<b>Membranlipide</b> .....	<b>331</b>
<b>3.1.1</b>	Das Grundprinzip: Die Lipiddoppelschicht .....	331
<b>3.1.2</b>	Struktur und Verteilung .....	332
	Phospholipide .....	332
	Glykolipide .....	334
	Cholesterin .....	335
<b>3.1.3</b>	Biosynthese .....	337
	Glycerophospholipide .....	337
	Sphingolipide .....	338
	Cholesterin .....	338
<b>3.1.4</b>	Abbau .....	343
	Glycerophospholipide .....	343
	Sphingolipide .....	343
	Cholesterin .....	344
<b>3.1.5</b>	Biosynthese von Membranen .....	344
<b>3.1.6</b>	Membranfluidität .....	344
<b>3.2</b>	<b>Membranproteine</b> .....	<b>345</b>
<b>3.2.1</b>	Aufbau .....	345
	Integrale Membranproteine .....	345
	Periphere Membranproteine .....	346
<b>3.2.2</b>	Funktion .....	346
<b>3.3</b>	<b>Kohlenhydrate</b> .....	<b>346</b>
<b>3.3.1</b>	Struktur .....	346
	N-Glykosylierung .....	346
	O-Glykosylierung .....	348
<b>3.3.2</b>	Funktion .....	348

<b>4</b>	<b>Funktion biologischer Membranen</b>	<b>350</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>4.1</b>	<b>Transport</b>	<b>350</b>
4.1.1	Passiver und aktiver Transport	350
	Passiver Transport	350
	Aktiver Transport	351
4.1.2	Transportproteine in Membranen	352
	Ionenkanäle	352
	Porine	352
	Transporter	353
4.1.3	Transport mit Hilfe von Membranvesikeln	355
	Endozytose	355
	Exozytose	356
	Transzytose	357
	Autophagozytose	358
	Vesikelfluss innerhalb der Zelle	358
<b>4.2</b>	<b>Signalvermittlung</b>	<b>358</b>
<b>4.3</b>	<b>Vermittlung von Zell-Zell-Kontakten</b>	<b>359</b>
4.3.1	Tight Junctions	359
4.3.2	Adhäsionsverbindungen	359
4.3.3	Desmosomen	359
4.3.4	Hemidesmosomen	360
4.3.5	Fokaladhäsionen	361
4.3.6	Gap Junctions	361
<b>5</b>	<b>Zellorganellen</b>	<b>363</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>5.1</b>	<b>Zytosol und Zytoplasma</b>	<b>363</b>
<b>5.2</b>	<b>Zellkern</b>	<b>363</b>
5.2.1	Aufbau	363
	Die Kernhülle	364
	Die Kernporen	364
	Der Nukleolus	365
5.2.2	Funktion	366
	Informationsspeicherung und DNA-Synthese	366
	RNA-Synthese	367
	NAD <sup>+</sup> -Synthese	367
	Zusammenbau der ribosomalen Untereinheiten	367
<b>5.3</b>	<b>Mitochondrien</b>	<b>367</b>
5.3.1	Aufbau	367
	Endosymbiontentheorie	368
5.3.2	Funktion	369
5.3.3	Proteintransport ins Mitochondrium	369
<b>5.4</b>	<b>Endoplasmatisches Retikulum</b>	<b>371</b>
5.4.1	Aufbau	371
5.4.2	Funktion	372
	Raues ER	372
	Glattes ER	373
<b>5.5</b>	<b>Golgi-Apparat</b>	<b>373</b>
5.5.1	Aufbau	373
5.5.2	Funktion	374
	Glykosylierung von Proteinen und Membranlipiden	374
	Proteinsortierung	374
<b>5.6</b>	<b>Lysosomen</b>	<b>376</b>
5.6.1	Aufbau	376
5.6.2	Funktion	377
5.6.3	Biogenese	378

<b>5.7</b>	<b>Peroxisomen</b>	<b>379</b>
5.7.1	Aufbau	379
5.7.2	Funktion	379
5.7.3	Biogenese	379
<b>5.8</b>	<b>Proteasom</b>	<b>379</b>
5.8.1	Aufbau	380
5.8.2	Funktion	380
5.8.3	Das Ubiquitinsystem	380
<b>6</b>	<b>Zytoskelett</b>	<b>382</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>6.1</b>	<b>Mikrofilamente</b>	<b>382</b>
6.1.1	Aufbau	382
6.1.2	Funktion	383
<b>6.2</b>	<b>Mikrotubuli</b>	<b>386</b>
6.2.1	Aufbau	386
6.2.2	Funktion	388
6.2.3	Komplexe Mikrotubulistrukturen	389
	Zentriolen und Basalkörper	389
	Kinozilien und Flagellen	389
	Kernteilungsspindel	390
<b>6.3</b>	<b>Intermediärfilamente</b>	<b>391</b>
6.3.1	Aufbau	391
6.3.2	Funktion	392
	Keratinfilamente	392
	Neurofilamente	393
	Vimentinfilamente	393
	Laminfilamente	393
<b>7</b>	<b>Extrazelluläre Matrix</b>	<b>396</b>
	<i>K. Hauser</i>	
<b>7.1</b>	<b>Komponenten der extrazellulären Matrix</b>	<b>396</b>
7.1.1	Kollagen	397
	Struktur	397
	Biosynthese	398
7.1.2	Elastin	401
7.1.3	Glykosaminoglykane	402
	Aufbau	402
	Biosynthese	404
	Abbau	404
	Funktion	404
7.1.4	Proteoglykane	405
	Aggrecan	406
	Decorin	406
	Perlecan	406
7.1.5	Nichtkollagene Glykoproteine	406
	Fibronectin	407
	Laminin	407
<b>7.2</b>	<b>Abbau der extrazellulären Matrix</b>	<b>408</b>
<b>7.3</b>	<b>Extrazelluläre Matrix des Knochens</b>	<b>409</b>
7.3.1	Anorganische Matrix	409
7.3.2	Organische Matrix	409
<b>7.4</b>	<b>Extrazelluläre Matrix des Knorpels</b>	<b>409</b>

## B III Molekulare Genetik

<b>8</b>	<b>Nukleotide</b> .....	<b>412</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>8.1</b>	<b>Aufbau der Nukleotide</b> .....	<b>412</b>
<b>8.2</b>	<b>Funktionen der Nukleotide</b> .....	<b>414</b>
8.2.1	Energieträger .....	414
8.2.2	Synthesevorstufen .....	416
	Bausteine von DNA und RNA .....	416
	Vorstufen weiterer Synthesen .....	416
8.2.3	Bestandteil von Coenzymen .....	416
8.2.4	Signalmoleküle .....	416
8.2.5	Allosterische Effektoren .....	417
<b>8.3</b>	<b>Stoffwechsel der Nukleotide</b> .....	<b>417</b>
8.3.1	Stoffwechsel der Purinnukleotide .....	417
	De-novo-Synthese der Purinnukleotide .....	417
	Energiebilanz und Regulation der De-novo-Synthese .....	418
	Abbau der Purinnukleotide .....	419
	Wiederverwertung der Purine (Salvage-Pathway) .....	422
8.3.2	Stoffwechsel der Pyrimidinnukleotide .....	423
	Synthese der Pyrimidinnukleotide .....	423
	Abbau der Pyrimidinnukleotide .....	424
8.3.3	Synthese von Desoxyribonukleotiden aus Ribonukleotiden .....	424
	Desoxyribonukleotide mit den Basen Adenin, Guanin und Cytosin ..	424
	Desoxyribonukleotide mit der Base Thymin .....	426
<b>9</b>	<b>Nukleinsäuren (Polynukleotide)</b> .....	<b>428</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>9.1</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>428</b>
<b>9.2</b>	<b>DNA</b> .....	<b>430</b>
9.2.1	Die DNA-Doppelhelix .....	430
9.2.2	Die Verpackung der DNA .....	432
<b>9.3</b>	<b>RNA</b> .....	<b>433</b>
9.3.1	Struktur .....	433
9.3.2	Typen der RNA .....	433
<b>10</b>	<b>Zentrales Dogma der Molekularbiologie</b> .....	<b>434</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>11</b>	<b>Replikation der DNA</b> .....	<b>436</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>11.1</b>	<b>Ablauf der Replikation</b> .....	<b>436</b>
11.1.1	Überblick .....	436
11.1.2	Erkennung der Replikationsstartstelle(n) und Strangtrennung .....	437
11.1.3	Synthese des Primers .....	438
11.1.4	DNA-Synthese .....	438
	Prinzip .....	438
	Reaktionsmechanismus .....	439
11.1.5	Ligation der Okazaki-Fragmente .....	440
11.1.6	Replikation eukaryontischer Chromosomen-Enden .....	441
<b>11.2</b>	<b>Hemmstoffe der Replikation</b> .....	<b>442</b>

<b>12</b>	<b>Genexpression</b> .....	<b>443</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>12.1</b>	<b>Überblick</b> .....	<b>443</b>
<b>12.2</b>	<b>Transkription</b> .....	<b>444</b>
12.2.1	Die Transkriptionsprodukte: die verschiedenen RNA-Typen .....	444
	Kodierende RNA-Typen .....	444
	Nichtkodierende RNA-Typen .....	445
12.2.2	Die Transkriptionsenzyme: RNA-Polymerasen .....	448
	Prokaryontische RNA-Polymerase .....	448
	Eukaryontische RNA-Polymerasen .....	448
12.2.3	Ablauf der Transkription .....	449
	Ablauf der Transkription bei Prokaryonten .....	450
	Ablauf der Transkription bei Eukaryonten .....	451
12.2.4	Regulation der Transkription .....	453
	Regulation der Transkription prokaryontischer Gene .....	454
	Regulation der Transkription eukaryontischer Gene .....	457
12.2.5	Hemmstoffe der Transkription .....	459
<b>12.3</b>	<b>Entstehung und Nachbearbeitung der mRNA</b> .....	<b>460</b>
12.3.1	Prozessierung der hnRNA .....	460
	Capping .....	460
	Splicing .....	461
	Polyadenylierung .....	463
12.3.2	RNA-Editing .....	464
	A-zu-I-RNA-Editing .....	464
	C-zu-U-Editing .....	465
<b>12.4</b>	<b>Translation</b> .....	<b>466</b>
12.4.1	Der genetische Code .....	466
12.4.2	Beladung der tRNAs mit Aminosäuren .....	467
12.4.3	Ablauf der Translation .....	468
	Initiation .....	469
	Elongation .....	471
	Termination .....	472
12.4.4	Hemmstoffe der Translation .....	473
<b>12.5</b>	<b>Proteinfaltung</b> .....	<b>474</b>
12.5.1	Motor und Ablauf der Proteinfaltung .....	474
12.5.2	An der Proteinfaltung beteiligte Proteine .....	476
	Chaperone .....	476
	Faltungshelferenzyme .....	477
<b>12.6</b>	<b>Cotranslati onaler Proteintransport in das endoplasmatische Retikulum</b> .....	<b>478</b>
<b>12.7</b>	<b>Co- und posttranslationale Modifikation von Proteinen</b> .....	<b>479</b>
<b>13</b>	<b>Gentechnik und Nachweis bzw. Analyse von Nukleinsäuren</b> .....	<b>481</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>13.1</b>	<b>Die Werkzeuge</b> .....	<b>482</b>
13.1.1	Plasmide .....	482
	Natürliche Funktion .....	482
	Anwendung .....	484
13.1.2	Restriktionsendonukleasen .....	484
	Natürliche Funktion und Eigenschaften .....	485
	Anwendung in der Gentechnik .....	485
13.1.3	Reverse Transkriptase .....	486
	Natürliche Funktion und Eigenschaften .....	486
	Anwendung in der Gentechnik .....	486
13.1.4	Weitere Enzyme .....	486

<b>13.2</b>	<b>Methodik der Gentechnik: Klonierung</b>	<b>487</b>
13.2.1	Werkzeuge	487
	Spender-DNA	487
	Klonierungsvektoren	487
	Restriktionsendonukleasen und DNA-Ligasen	488
	Empfängerzellen	488
13.2.2	DNA-Transfermethoden	489
	DNA-Transfer in Bakterien	489
	DNA-Transfer in Eukaryonten: Transfektion	490
13.2.3	Ablauf einer Klonierung	490
13.2.4	Einsatzgebiete	490
<b>13.3</b>	<b>Nachweis und Analyse von Nukleinsäuren</b>	<b>492</b>
13.3.1	Polymerasekettenreaktion (PCR)	492
13.3.2	Reverse Transkriptions-Polymerasekettenreaktion (RT-PCR)	493
13.3.3	Agarose- und Polyacrylamid-Gelelektrophorese	494
13.3.4	Blot-Hybridisierung	495
	Southern-Blot	495
	Northern-Blot	496
13.3.5	Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus (RFLP)	496
13.3.6	DNA-Profilanalyse (Genetischer Fingerabdruck)	496
	Grundlagen	497
	Verfahren zur DNA-Profilanalyse	497
13.3.7	DNA-Sequenzierung	497
13.3.8	Knock-out-Tiere und transgene Tiere	498
<b>14</b>	<b>Mutationen und DNA-Reparatur</b>	<b>501</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>14.1</b>	<b>Mutationen</b>	<b>501</b>
14.1.1	Mutationsformen	501
	Genommutation	501
	Chromosomenmutation	501
	Gen- und Punktmutation	502
14.1.2	Entstehung von Mutationen	503
	Mechanismen endogener DNA-Schäden	503
	Mechanismen exogener DNA-Schäden	504
<b>14.2</b>	<b>Reparatur der DNA-Schäden</b>	<b>505</b>
14.2.1	Direkte Reparatur	505
	Photoreaktivierung	505
	Reparatur von Alkylschäden	505
14.2.2	Basen-Exzisionsreparatur	506
14.2.3	Nukleotid-Exzisionsreparatur	506
<b>14.3</b>	<b>Kontrolle der Replikationsgenauigkeit und Fehlpaarungsreparatur (Mismatch-Reparatur)</b>	<b>508</b>

## B IV Zellzyklus, Apoptose und molekulare Onkologie

<b>15</b>	<b>Der Zellzyklus</b>	<b>512</b>
	<i>R. Netzker</i>	
<b>15.1</b>	<b>Ablauf</b>	<b>512</b>
<b>15.2</b>	<b>Regulation</b>	<b>513</b>
15.2.1	Kontrollpunkte im Zellzyklus	513
15.2.2	Komponenten des Zellzyklus-Kontrollsystems	514
15.2.3	Steuerung der Phasenübergänge bzw. der S-Phase	515
	Steuerung des G1/S-Übergangs	515
	Kontrolle der S-Phase	516
	Steuerung des G2/M-Übergangs	516

<b>16</b>	<b>Die Apoptose</b> .....	<b>517</b>
	<i>R. Netzer</i>	
<b>16.1</b>	<b>Bedeutung der Apoptose</b> .....	<b>517</b>
<b>16.2</b>	<b>Komponenten des Apoptose-Apparates</b> .....	<b>518</b>
16.2.1	Caspasen .....	518
16.2.2	Proteine der Bcl-2-Familie .....	518
16.2.3	Inhibitors of Apoptosis Proteins (IAPs) .....	519
<b>16.3</b>	<b>Auslösung der Apoptose</b> .....	<b>519</b>
16.3.1	Extrinsischer Signalweg .....	519
16.3.2	Intrinsischer Signalweg .....	520
<b>16.4</b>	<b>Wirkung der Effektor-Caspasen</b> .....	<b>521</b>
<b>16.5</b>	<b>Fehlregulationen der Apoptose</b> .....	<b>521</b>
<b>17</b>	<b>Molekulare Onkologie</b> .....	<b>522</b>
	<i>R. Netzer</i>	
<b>17.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>522</b>
<b>17.2</b>	<b>Tumorentstehung (Kancerogenese)</b> .....	<b>522</b>
17.2.1	Somatische Mutationen als Auslöser der Transformation .....	523
	Protoonkogene .....	523
	Mutation von Protoonkogenen zu Onkogenen .....	524
	Tumorsuppressorgene .....	526
17.2.2	Tumoviren als Auslöser der Transformation .....	529
	Retroviren .....	529
	Papillomaviren .....	530
<b>17.3</b>	<b>Tumorentwicklung: Die Bildung von Tumorgefäßen und Tochterkolonien</b> .....	<b>531</b>
17.3.1	Angiogenese .....	531
17.3.2	Metastasierung .....	531
<b>17.4</b>	<b>Tumorthherapie</b> .....	<b>532</b>
17.4.1	Zytostatika .....	532
17.4.2	Neuere Entwicklungen in der Tumorthherapie .....	533
	Hormonantagonisten .....	533
	Monoklonale Antikörper .....	533
	Tyrosinkinase-Hemmer .....	534
	Angiogenese-Hemmer .....	534

## **B V Zelluläre Kommunikation**

<b>18</b>	<b>Grundlagen der zellulären Kommunikation</b> .....	<b>536</b>
	<i>R. Deutzmann</i>	
<b>18.1</b>	<b>Prinzipien der Signalübertragung zwischen Zellen</b> .....	<b>536</b>
18.1.1	Gap Junctions (S.15) .....	537
18.1.2	Zell-Zell- und Zell-Matrix-Interaktion (S.15) .....	537
18.1.3	Extrazelluläre Signalübertragung .....	537
	Endokrine Signalübermittlung .....	537
	Parakrine Signalübermittlung .....	537
	Autokrine Signalübermittlung .....	537
<b>18.2</b>	<b>Hormone und Zytokine</b> .....	<b>538</b>
18.2.1	Einteilung der Hormone .....	538
	Glanduläre Hormone .....	538
	Aglanduläre Hormone .....	538
18.2.2	Eigenschaften und Wirkprinzip von Hormonen .....	539
18.2.3	Hormonelle Regelkreise .....	540
	Einfache Rückkopplung (biologischer Regelkreis) .....	540
	Steuerung über das ZNS (neuroendokrine Systeme) .....	541
18.2.4	Zytokine .....	541
<b>18.3</b>	<b>Nachweismethoden</b> .....	<b>542</b>

18.3.1	Radioimmunoassay (RIA) .....	542
18.3.2	Enzyme-linked immunosorbent Assay (ELISA) .....	543
<b>19</b>	<b>Mechanismen der Signaltransduktion .....</b>	<b>544</b>
	<i>R. Deutzmann</i>	
<b>19.1</b>	<b>Rezeptoren in der Zellmembran .....</b>	<b>545</b>
19.1.1	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren .....	545
	Mechanismus der Signaltransduktion .....	545
	Die Adenylatzyklase .....	548
	Die Phospholipase C $\beta$ .....	551
19.1.2	Ligandenaktivierte Ionenkanäle .....	555
19.1.3	Enzymgekoppelte Rezeptoren .....	556
	Guanylatzyklasen .....	556
	Rezeptortyrosinkinasen .....	558
	Rezeptoren mit assoziierten Tyrosinkinasen .....	562
	Rezeptor-Serin/Threoninkinasen .....	562
<b>19.2</b>	<b>Intrazelluläre Rezeptoren .....</b>	<b>563</b>
19.2.1	Steroidhormonrezeptoren .....	564
19.2.2	Rezeptoren für Schilddrüsenhormone, Vitamin D und Retinsäure ..	564
19.2.3	Rezeptoren der PPAR-Familie .....	565
<b>20</b>	<b>Hormone .....</b>	<b>566</b>
	<i>R. Deutzmann</i>	
<b>20.1</b>	<b>Pankreashormone .....</b>	<b>566</b>
20.1.1	Insulin .....	566
	Struktur und Biosynthese .....	566
	Sekretion .....	567
	Abbau .....	567
	Molekulare Mechanismen der Insulinwirkung .....	568
	Zelluläre Wirkungen von Insulin .....	569
20.1.2	Glukagon .....	573
	Biosynthese .....	573
	Sekretion .....	573
	Abbau .....	573
	Molekulare und zelluläre Wirkungen .....	573
	Glukagon-ähnliche Peptide .....	574
<b>20.2</b>	<b>Hormone des Nebennierenmarks: Die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin .....</b>	<b>577</b>
20.2.1	Biosynthese und Sekretion .....	577
20.2.2	Abbau .....	578
20.2.3	Molekulare Mechanismen .....	579
20.2.4	Zelluläre Wirkungen .....	579
	Wirkungen auf den Stoffwechsel .....	580
	Wirkungen auf Organsysteme .....	581
<b>20.3</b>	<b>Hormone des hypothalamisch-hypophysären Systems .....</b>	<b>582</b>
20.3.1	Hypothalamus .....	582
20.3.2	Hypophyse .....	583
	Hormone der Adenohypophyse .....	584
	Hormone der Neurohypophyse .....	585
20.3.3	Rückkopplungsmechanismen .....	585
<b>20.4</b>	<b>Schilddrüsenhormone (Thyroxin und Triiodthyronin) .....</b>	<b>586</b>
20.4.1	Biosynthese, Speicherung, Transport und Abbau .....	587
	Biosynthese .....	587
	Regulation der Biosynthese .....	588
	Transport im Blut .....	588
	Aktivierung und Abbau .....	588



20.4.2	Wirkungen .....	589
	Molekulare Wirkungen .....	589
	Zelluläre Wirkungen .....	589
<b>20.5</b>	<b>Hormone der Nebennierenrinde .....</b>	<b>593</b>
20.5.1	Überblick .....	593
	Biosynthese der Steroidhormone .....	593
	Freisetzung, Transport und Inaktivierung der Steroidhormone .....	594
20.5.2	Glucocorticoide .....	594
	Regulation der Biosynthese .....	596
	Molekulare Wirkungen .....	596
	Zelluläre Wirkungen .....	596
20.5.3	Androgene .....	598
<b>20.6</b>	<b>Hormone der Gonaden .....</b>	<b>602</b>
20.6.1	Androgene .....	602
	Biosynthese und Transport .....	602
	Regulation der Biosynthese .....	603
	Molekulare Wirkungen .....	603
	Zelluläre Wirkungen .....	603
20.6.2	Östrogene und Gestagene .....	604
	Biosynthese und Transport .....	604
	Regulation der Biosynthese .....	604
	Molekulare Wirkungen .....	604
	Zelluläre Wirkungen .....	605
<b>20.7</b>	<b>Wachstumshormon .....</b>	<b>608</b>
20.7.1	Struktur und Regulation der Biosynthese .....	608
20.7.2	Molekulare und zelluläre Wirkungen .....	609
<b>20.8</b>	<b>Prolaktin .....</b>	<b>611</b>
20.8.1	Regulation der Biosynthese .....	611
20.8.2	Molekulare und zelluläre Wirkungen .....	611
<b>20.9</b>	<b>Gastrointestinale Hormone .....</b>	<b>611</b>
20.9.1	Gastrin .....	612
20.9.2	Sekretin .....	614
20.9.3	Cholecystokinin (CCK) .....	614
20.9.4	Regulation des Wasserhaushalts: Antidiuretisches Hormon .....	615
	Biosynthese und Sekretion .....	616
	Regulation der Sekretion .....	616
	Molekulare und zelluläre Wirkungen .....	617
20.9.5	Hormonelle Regulation des Natriumhaushalts .....	617
	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS) .....	617
	Aldosteron .....	619
	Atriales natriuretisches Peptid (ANP) .....	621
20.9.6	Hormonelle Regulation des Kaliumhaushalts .....	622
	Insulin .....	622
	Aldosteron .....	622
20.9.7	Hormone mit Wirkung auf den Calcium- und Phosphathaushalt ...	622
	Parathormon .....	622
	Calcitonin .....	624
	Calciferole .....	624
<b>21</b>	<b>Mediatoren .....</b>	<b>627</b>
	<i>R. Deutzmann</i>	
<b>21.1</b>	<b>Eikosanoide .....</b>	<b>627</b>
21.1.1	Biosynthese .....	627
	Freisetzung der Arachidonsäure .....	627
	Biosynthese der Prostaglandine und des Thromboxans A <sub>2</sub> .....	628
	Biosynthese der Leukotriene .....	629

21.1.2	Wirkungen	629
	Prostaglandine und Thromboxan A <sub>2</sub>	629
	Leukotriene	632
21.2	<b>Stickstoffmonoxid (NO)</b>	<b>633</b>
21.2.1	Biosynthese und Inaktivierung	633
21.2.2	Wirkungen	634
	Direkte Wirkungen	634
	cGMP-vermittelte Wirkungen	634
21.3	<b>Kinine</b>	<b>635</b>
21.3.1	Biosynthese und Inaktivierung	635
21.3.2	Wirkungen	636
21.4	<b>Histamin</b>	<b>638</b>
21.4.1	Biosynthese, Speicherung und Inaktivierung	638
21.4.2	Wirkungen	638
21.5	<b>Serotonin (5-Hydroxytryptamin)</b>	<b>640</b>
21.5.1	Biosynthese, Speicherung und Inaktivierung	640
21.5.2	Wirkungen	640
22	<b>Zytokine</b>	<b>645</b>
	<i>R. Deutzmann</i>	
22.1	<b>Grundlagen</b>	<b>645</b>
22.2	<b>Wachstumsfaktoren</b>	<b>645</b>
22.3	<b>Zytokine mit Wirkung auf die Hämatopoese</b>	<b>647</b>
22.4	<b>Zytokine des Immunsystems</b>	<b>650</b>

## B VI Verteilung und Exkretion von Substanzen im Organismus

23	<b>Biochemie des Blutes</b>	<b>652</b>
	<i>J. Rassow</i>	
23.1	<b>Transport von O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> im Blut</b>	<b>652</b>
23.1.1	O <sub>2</sub> -Transport durch Hämoglobin	652
	Die strukturellen Grundlagen der O <sub>2</sub> -Bindung des Hämoglobins	653
	Die Regulation der O <sub>2</sub> -Bindung des Hämoglobins	656
23.1.2	Transport von CO <sub>2</sub>	658
23.1.3	Die verschiedenen Hämoglobine des Menschen	659
23.1.4	Schutz des Hämoglobins vor Oxidation	661
	Auslöser der Hämoglobin-Oxidation	661
	Schutzmechanismen	662
23.2	<b>Erythropoese und Porphyrinstoffwechsel</b>	<b>663</b>
23.3	<b>Die Proteine des Blutserums</b>	<b>667</b>
24	<b>Biochemie der Leber</b>	<b>669</b>
	<i>J. Rassow</i>	
24.1	<b>Einführung</b>	<b>669</b>
24.2	<b>Stoffwechselfunktionen der Leber</b>	<b>670</b>
24.2.1	Konstanthaltung des Blutzuckerspiegels	670
24.2.2	Synthese von Ketonkörpern, Triacylglycerinen und Cholesterin	671
24.2.3	Aufgaben der Leber im Aminosäurestoffwechsel	671
24.3	<b>Produktion von Serumproteinen</b>	<b>672</b>
24.4	<b>Ausscheidungsfunktion der Leber</b>	<b>672</b>
24.4.1	Bestandteile der Galle	672
24.4.2	Gallesekretion	673

<b>25</b>	<b>Biochemie der Niere</b> .....	<b>676</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>25.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>676</b>
<b>25.2</b>	<b>Ultrafiltration im Nierenkörperchen</b> .....	<b>677</b>
<b>25.3</b>	<b>Funktionen des proximalen Tubulus</b> .....	<b>678</b>
25.3.1	Gluconeogenese .....	678
25.3.2	Resorption und Sekretion .....	679
<b>25.4</b>	<b>Funktionen der Henle-Schleife</b> .....	<b>682</b>
<b>25.5</b>	<b>Funktion des distalen Tubulus und des Sammelrohrs</b> .....	<b>683</b>
<b>25.6</b>	<b>Regulation der Nierenfunktionen</b> .....	<b>684</b>
25.6.1	Das antidiuretische Hormon ADH (Vasopressin) .....	684
25.6.2	Aldosteron .....	684
25.6.3	Funktionen des juxtaglomerulären Apparates .....	684
25.6.4	Das atriale natriuretische Peptid und andere Peptidhormone .....	685
<b>25.7</b>	<b>Aufgaben der Niere im Säure-Basen- und Stickstoffhaushalt</b> .....	<b>686</b>

## **B VII Der Organismus in seiner Umwelt**

<b>26</b>	<b>Die Unterscheidung von Selbst und Fremd im Immunsystem</b> .....	<b>692</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>26.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>692</b>
<b>26.2</b>	<b>Das angeborene (unspezifische) Immunsystem</b> .....	<b>693</b>
26.2.1	Abwehr von Mikroorganismen an Oberflächen .....	693
26.2.2	Erkennung von Mikroorganismen durch das angeborene Immunsystem .....	696
	Das Komplementsystem .....	696
	Rezeptorproteine des angeborenen Immunsystems .....	699
<b>26.3</b>	<b>Das adaptive Immunsystem</b> .....	<b>701</b>
26.3.1	Einführung .....	701
26.3.2	Antikörper .....	702
	Genetische Grundlagen der Antikörpervielfalt .....	708
	Polyklonale und monoklonale Antikörper .....	710
26.3.3	Zelluläre und molekulare Grundlagen adaptiver Immunantworten .	710
	Auslösung einer adaptiven Immunantwort .....	710
	B-Zellen .....	713
	T-Zellen .....	716
26.3.4	Das erworbene Immunschwächesyndrom (AIDS) .....	720
26.3.5	Allergie .....	721
<b>26.4</b>	<b>Entzündung</b> .....	<b>727</b>
26.4.1	Grundlagen .....	727
26.4.2	Die Aktivierung der Leukozyten .....	727
26.4.3	Die Leukozyten im Entzündungsherd .....	729
	Neutrophile Granulozyten .....	729
	Monozyten und Makrophagen .....	729
<b>26.5</b>	<b>Mediatoren des Immunsystems</b> .....	<b>730</b>
	Interferone (IFN) .....	730
	Interleukine .....	731
	TNF $\alpha$ .....	731
	Weitere Mediatoren .....	732
<b>26.6</b>	<b>Immunologie der Blutgruppenantigene</b> .....	<b>732</b>
26.6.1	Das ABO-System .....	732
26.6.2	Das Rhesus-System .....	734
<b>26.7</b>	<b>Tumorimmunologie</b> .....	<b>734</b>

<b>27</b>	<b>Reaktionen auf Verletzungen: Blutstillung und Blutgerinnung</b> .....	<b>736</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>27.1</b>	<b>Blutstillung: Aktivierung und Aggregation von Thrombozyten</b> .....	<b>736</b>
27.1.1	Thrombozytenadhäsion .....	736
27.1.2	Thrombozytenaggregation .....	737
27.1.3	Freisetzung von Inhaltsstoffen aus aktivierten Thrombozyten .....	739
27.1.4	Hemmung der Thrombozytenaggregation am intakten Endothel ...	740
<b>27.2</b>	<b>Blutgerinnung</b> .....	<b>741</b>
27.2.1	Das Prinzip .....	741
27.2.2	Die Blutgerinnung im Detail .....	742
	Auslösung und Beschleunigung der Gerinnung .....	742
	Zusammenfassung und Überblick .....	746
	Vitamin K, $\gamma$ -Carboxylierung und Calcium-Ionen .....	746
<b>27.3</b>	<b>Fibrinolyse</b> .....	<b>748</b>
<b>27.4</b>	<b>Hemmung der Blutgerinnung</b> .....	<b>749</b>
<b>27.5</b>	<b>Thrombusbildung und Ischämie</b> .....	<b>751</b>
<b>28</b>	<b>Reaktion auf Fremdstoffe: Entgiftung</b> .....	<b>756</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>28.1</b>	<b>Die Entgiftung organischer Fremdstoffe: Biotransformation</b> .....	<b>756</b>
28.1.1	Phase-I-Reaktionen .....	757
	Cytochrom-P-450-Enzyme .....	757
	Weitere Enzyme der Phase-I-Reaktionen .....	759
28.1.2	Phase-II-Reaktionen .....	760
<b>28.2</b>	<b>Die Entgiftung anorganischer Fremdstoffe: Stoffwechsel der Schwermetalle</b> .....	<b>762</b>
<b>29</b>	<b>Neurochemie</b> .....	<b>763</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>29.1</b>	<b>Energiestoffwechsel des Nervensystems</b> .....	<b>763</b>
<b>29.2</b>	<b>Gliazellen und Myelin</b> .....	<b>764</b>
<b>29.3</b>	<b>Schrankensysteme des ZNS</b> .....	<b>766</b>
29.3.1	Blut-Hirn-Schranke .....	766
29.3.2	Blut-Liquor-Schranke (inkl. Liquor) .....	767
<b>29.4</b>	<b>Ionenkanäle</b> .....	<b>768</b>
29.4.1	Wesentliche Grundlagen .....	768
29.4.2	Röntgenkristallstrukturen der Ionenkanäle .....	771
<b>29.5</b>	<b>Synapsen, motorische Endplatte und nicotinischer Acetylcholin-rezeptor</b> .....	<b>775</b>
<b>29.6</b>	<b>Neurotransmitter</b> .....	<b>778</b>
29.6.1	Acetylcholin (ACh) .....	778
29.6.2	Glutamat (Glu) .....	779
29.6.3	Katecholamine .....	780
	Noradrenalin .....	780
	Dopamin .....	781
29.6.4	Serotonin .....	782
29.6.5	GABA .....	784
29.6.6	Glycin .....	785
29.6.7	Neuropeptide .....	786
	Opioide .....	786
	Purine .....	787
<b>29.7</b>	<b>Wichtige Erkrankungen des ZNS</b> .....	<b>788</b>
29.7.1	Multiple Sklerose (MS) .....	788
29.7.2	Alzheimer-Krankheit .....	789
29.7.3	Parkinson-Krankheit .....	792

29.7.4 Chorea Huntington ..... 794

**29.8 Sinnesorgane und Sinneszellen ..... 795**

29.8.1 Riechsinneszellen ..... 795

29.8.2 Geschmackssinneszellen ..... 796

29.8.3 Das Ohr: Hören und Gleichgewicht ..... 796

29.8.4 Das Auge ..... 797

**B VIII Aktuelle Entwicklungen der Biochemie**

**30 Ausblick ..... 806**

*J. Rassow*

**Quellenverzeichnis ..... 810**

**Sachverzeichnis ..... 813**