

# Inhalt

## Teil A Energiestoffwechsel

### 1 Der Energiestoffwechsel im Überblick ..... 3

*J. Rassow*

- 1.1 Worum geht es in diesem Kapitel? ..... 3
- 1.2 Woher stammt die Energie für Lebensprozesse? ..... 3
  - 1.2.1 Die Bedeutung der energetischen Kopplung ..... 3
  - 1.2.2 Die Bedeutung des ATP als Energieträger ..... 4
    - Wo im ATP steckt die Energie? ..... 5
    - Warum wird bei der Hydrolyse von ATP Energie freigesetzt? ..... 6
- 1.3 Wie entsteht ATP? ..... 6
- 1.4 Woher stammt die Energie für die ATP-Synthese? ..... 7
  - 1.4.1 Ein Protonenfluss als Energiequelle der ATP-Synthese ..... 8
  - 1.4.2 Die Atmungskette als Protonenpumpe ..... 8
  - 1.4.3 Die Herkunft der Elektronen der Atmungskette ..... 9
    - Herkunft des Sauerstoffs ..... 9
    - Herkunft der Elektronen ..... 9

### 2 Biochemisch relevante Stoffklassen – eine erste Einführung ..... 11

*J. Rassow*

- 2.1 Aminosäuren, Peptide und Proteine ..... 11
- 2.2 Kohlenhydrate ..... 12
- 2.3 Lipide und Fettsäuren ..... 13
- 2.4 Weitere Stoffklassen ..... 15

### 3 Triebkraft und Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen ..... 16

*J. Rassow*

- 3.1 Die Triebkraft biochemischer Reaktionen ..... 16
  - 3.1.1 Die Bedeutung der Freien Energie ..... 17
  - 3.1.2 Die Bedeutung des chemischen Gleichgewichts ..... 17
  - 3.1.3 Was geschieht bei Annäherung an das chemische Gleichgewicht mit der Freien Energie? ..... 20
  - 3.1.4 Die Bedeutung der Entropie ..... 20
- 3.2 Die Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen ..... 21
  - 3.2.1 Prinzipien der chemischen Reaktionskinetik ..... 21
  - 3.2.2 Enzyme als Katalysatoren biochemischer Reaktionen ..... 22
    - Die Funktion der Enzyme ..... 22

- Die Bedeutung der katalytischen Zentren ..... 23
- Klassifizierung von Enzymen ..... 24
- 3.2.3 Enzymkinetik ..... 24
  - Die maximale Reaktionsgeschwindigkeit  $v_{\max}$  ..... 24
  - Die Michaelis-Menten-Konstante  $K_m$  ..... 26
  - Die Michaelis-Menten-Gleichung ..... 27
  - Das Lineweaver-Burk-Diagramm ..... 28
  - Die katalytische Aktivität ..... 28
  - Die Wechselzahl ..... 28
  - Enzymhemmung ..... 29
  - Allosterische Effekte ..... 32

### 4 Die molekulare Struktur der wichtigsten Nahrungsstoffe: Kohlenhydrate, Triacylglycerine und Aminosäuren ..... 34

*J. Rassow*

- 4.1 Kurzübersicht ..... 34
- 4.2 Kohlenhydrate ..... 34
  - 4.2.1 Chemie der Kohlenhydrate ..... 34
    - Monosaccharide ..... 34
    - Di-, Oligo- und Polysaccharide ..... 39
    - Verbindungen von Kohlenhydraten mit Peptiden und Proteinen ..... 41
  - 4.2.2 Funktion der Kohlenhydrate im Energiestoffwechsel ..... 43
- 4.3 Triacylglycerine (TAG) ..... 44
  - 4.3.1 Struktur ..... 44
  - 4.3.2 Funktion der TAG im Energiestoffwechsel ..... 49
- 4.4 Aminosäuren ..... 50
  - 4.4.1 Grundstruktur und Eigenschaften ..... 50
  - 4.4.2 Die proteinogenen Aminosäuren ..... 52
    - Die charakteristischen Aminosäurereste und ihre biochemische Relevanz ..... 52
    - Nicht essenzielle und essenzielle proteinogene Aminosäuren ..... 57
  - 4.4.3 Der Sonderfall Selenocystein ..... 58
  - 4.4.4 Nicht proteinogene Aminosäuren ..... 58
  - 4.4.5 Funktion im Energiestoffwechsel ..... 59

### 5 Die wichtigsten biochemischen Funktionsträger: Proteine ..... 62

*J. Rassow*

- 5.1 Grundlagen ..... 62
- 5.2 Die Peptidbindung ..... 62
- 5.3 Proteinstrukturen ..... 63
  - 5.3.1 Primärstruktur ..... 64
  - 5.3.2 Sekundärstruktur ..... 64
    - Grundlagen ..... 64
    - $\alpha$ -Helix ..... 65
    - $\beta$ -Faltblatt ..... 66
    - Schleife ..... 67
  - 5.3.3 Tertiär- und Quartärstruktur ..... 67
    - Stabilisierung der Tertiärstruktur ..... 67

<b>6</b>	<b>Abbau der Kohlenhydrate zu Pyruvat bzw. Lactat</b>	<b>70</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>6.1</b>	<b>Kurze Einführung</b>	<b>70</b>
<b>6.2</b>	<b>Die Glykolyse</b>	<b>70</b>
6.2.1	Grundlagen	70
6.2.2	Die einzelnen Reaktionsschritte der Glykolyse	70
	Abschnitt 1	71
	Abschnitt 2	73
	Energiebilanz	77
	Reversible und irreversible Schritte	77
	Was wird aus dem Pyruvat?	78
6.2.3	Die Regulation der Glykolyse	79
	Schlüsselenzyme	79
	Bedeutung und Regulation von Hexokinase und Glucokinase	80
	Bedeutung und Regulation der Phosphofructokinase-1	81
	Regulation der Pyruvat-Kinase	84
<b>6.3</b>	<b>Reduktion und Oxidation von Pyruvat</b>	<b>85</b>
6.3.1	Reduktion von Pyruvat zu Lactat (Lactatgärung)	85
	Funktion	85
	Die Lactat-Dehydrogenase (LDH)	86
	Der weitere Abbau des Lactats	87
6.3.2	Oxidativer Abbau von Pyruvat	87
<b>6.4</b>	<b>Abbau von Glykogen</b>	<b>87</b>
6.4.1	Einführung	87
6.4.2	Der Glykogenabbau	88
	Abbau an freien Glykogen-Enden	88
	Abbau an Verzweigungsstellen	89
6.4.3	Die Regulation des Glykogenabbaus	90
<b>6.5</b>	<b>Abbau der Stärke</b>	<b>91</b>
<b>6.6</b>	<b>Abbau der Fructose</b>	<b>91</b>
<b>6.7</b>	<b>Abbau der Galaktose</b>	<b>93</b>
<b>7</b>	<b>Oxidativer Abbau von Pyruvat: Die Reaktionen der Pyruvat-Dehydrogenase und des Citratzyklus</b>	<b>97</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>7.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>97</b>
<b>7.2</b>	<b>Die Pyruvat-Dehydrogenase (PDH)</b>	<b>98</b>
7.2.1	Grundlagen	98
7.2.2	Der Aufbau der Pyruvat-Dehydrogenase	98
7.2.3	Die einzelnen Reaktionsschritte	100
	Bilanz	102
7.2.4	Die Regulation der Pyruvat-Dehydrogenase	102
<b>7.3</b>	<b>Der Citratzyklus</b>	<b>103</b>
7.3.1	Grundlagen	103
	Funktionen des Citratzyklus	103
	Die Substratspezifität der Dehydrogenasen: ein Schlüssel zum Verständnis des Citratzyklus	104
7.3.2	Die einzelnen Reaktionsschritte	106
7.3.3	Energieausbeute des Citratzyklus	113

7.3.4	Regulation des Citratzyklus	113
7.3.5	Auffüllung des Citratzyklus: Anaplerotische Reaktionen	114
<b>8</b>	<b>Abbau von Triacylglycerinen und Ketonkörpern</b>	<b>116</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>8.1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>116</b>
<b>8.2</b>	<b>Physiologische Bedeutung</b>	<b>116</b>
8.2.1	Triacylglycerine (TAG)	116
	Speicherorte der TAG	117
	TAG im Vergleich mit Glykogen	118
8.2.2	Ketonkörper	118
<b>8.3</b>	<b>Hydrolyse von Triacylglycerinen durch Lipasen</b>	<b>118</b>
<b>8.4</b>	<b>Was wird aus den Hydrolyseprodukten Glycerin und Fettsäuren?</b>	<b>121</b>
8.4.1	Abbau von Glycerin	121
8.4.2	Abbau der Fettsäuren ( $\beta$ -Oxidation)	122
	Grundlagen	122
	Import der Fettsäuren in die Mitochondrien	123
	$\beta$ -Oxidation gesättigter, geradzahliger Fettsäuren	124
	$\beta$ -Oxidation ungesättigter Fettsäuren	127
	$\beta$ -Oxidation ungeradzahliger Fettsäuren	127
	$\beta$ -Oxidation in Peroxisomen	128
	Energiebilanz der mitochondrialen $\beta$ -Oxidation	129
	Regulation der $\beta$ -Oxidation	130
<b>8.5</b>	<b>Abbau von Ketonkörpern</b>	<b>130</b>
<b>9</b>	<b>Abbau von Proteinen und Aminosäuren</b>	<b>136</b>
	<i>J. Rassow</i>	
<b>9.1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>136</b>
<b>9.2</b>	<b>Transport von Stickstoff im Blut: Alanin, Glutamin und Harnstoff</b>	<b>136</b>
<b>9.3</b>	<b>Der Harnstoffzyklus</b>	<b>139</b>
9.3.1	Grundlagen	139
9.3.2	Die einzelnen Reaktionsschritte	140
9.3.3	Energiebilanz	143
9.3.4	Was wird aus dem Fumarat?	143
9.3.5	Regulation des Harnstoffzyklus	143
<b>9.4</b>	<b>Ammoniak im Stoffwechsel</b>	<b>143</b>
9.4.1	Bildung von Ammoniak	143
9.4.2	Entgiftung von Ammoniak	145
<b>9.5</b>	<b>Abspaltung von Aminogruppen durch Transaminierung und Desaminierung</b>	<b>146</b>
9.5.1	Transaminierung	146
9.5.2	Desaminierung	148
	Oxidative Desaminierung von Glutamat	148
	Hydrolytische Desaminierung von Glutamin und Asparagin	149
	Eliminierende Desaminierung von Serin, Threonin und Cystein	149

<b>9.6</b>	<b>Wege des Kohlenstoffs im Abbau der Aminosäuren</b>	<b>150</b>
9.6.1	Grundlagen: glucogene und ketogene Aminosäuren	150
	Abbau zu Pyruvat und Metaboliten des Citratzyklus	150
	Abbau zu Acetyl-CoA	150
9.6.2	Abbau der einzelnen Aminosäuren	151
<b>9.7</b>	<b>Wichtige Produkte des Aminosäureabbaus</b>	<b>157</b>
9.7.1	Aminosäure-Abbauprodukte mit Mediatorfunktion: Biogene Amine	157
9.7.2	Stickstoffmonoxid (NO) als Abbauprodukt des Arginins	157
9.7.3	S-Adenosylmethionin als Überträger von Methylgruppen	158
9.7.4	Aminosäuren als Vorstufen weiterer Synthesen	160

## **10 ATP-Synthese durch oxidative Phosphorylierung** **161**

*J. Rassow*

<b>10.1</b>	<b>Einführung: Mechanismen der ATP-Synthese im Stoffwechsel</b>	<b>161</b>
<b>10.2</b>	<b>Die ATP-Synthase</b>	<b>161</b>
10.2.1	Aufbau	161
10.2.2	Funktionsweise	163
10.2.3	Triebkraft der ATP-Synthase	163
<b>10.3</b>	<b>Die Atmungskette</b>	<b>163</b>
10.3.1	Einführung	163
10.3.2	Die Komponenten der Atmungskette	166
	Komplex I	166
	Das Coenzym Ubichinon	168
	Komplex II	168
	Die ETF-Ubichinon-Oxidoreduktase	169
	Die Glycerin-3-phosphat-Dehydrogenase	170
	Komplex III und der Q-Zyklus	170
	Cytochrom c	171
	Komplex IV	172
10.3.3	Die Redoxpotenziale der Atmungskette	173
10.3.4	Regulation der Aktivität der Atmungskette	174
<b>10.4</b>	<b>Import und Export von Metaboliten über die Mitochondrienmembran</b>	<b>174</b>
<b>10.5</b>	<b>Transport von Reduktionsäquivalenten über die mitochondriale Innenmembran</b>	<b>175</b>
10.5.1	Glycerin-3-phosphat-Shuttle	176
10.5.2	Malat-Aspartat-Shuttle	176
10.5.3	Vergleich beider Shuttle-Systeme	176
<b>10.6</b>	<b>Entkoppler des OXPHOS-Systems</b>	<b>177</b>
10.6.1	Der physiologische Entkoppler Thermogenin	177
10.6.2	Toxische Entkoppler	177
<b>10.7</b>	<b>Angeborene Defekte des OXPHOS-Systems</b>	<b>178</b>
<b>10.8</b>	<b>Bakterielle Atmungsketten</b>	<b>178</b>

## **11 Ernährung und Verdauung** **180**

*J. Rassow*

<b>11.1</b>	<b>Einführung</b>	<b>180</b>
<b>11.2</b>	<b>Ernährung</b>	<b>180</b>
11.2.1	Zusammensetzung der Nahrung	180
11.2.2	Parenterale Ernährung	185
11.2.3	Energiegehalt der Nahrung	185
	Der tägliche Energieumsatz	185
	Bestimmung des Energiegehalts der Nahrung	186
<b>11.3</b>	<b>Verdauung</b>	<b>187</b>
11.3.1	Überblick	187
11.3.2	Die Verdauungssekrete	188
	Speichel	189
	Magensaft	190
	Pankreassekret	193
	Galle	195
	Dünndarmsekret	199
11.3.3	Verdauung der Nahrungsbestandteile	199

## **12 Speicherung und Bereitstellung von Kohlenhydraten** **200**

*J. Rassow*

<b>12.1</b>	<b>Aufnahme der Kohlenhydrate aus der Nahrung</b>	<b>200</b>
12.1.1	Wichtige Kohlenhydrate in der Nahrung	200
12.1.2	Verdauung der Kohlenhydrate	200
	α-Amylase in Speichel und Pankreassaft	200
	Enzyme im Bürstensaum der Enterozyten	200
12.1.3	Resorption der Kohlenhydrate im Darm	202
12.1.4	Transport in Hepatozyten	203
12.1.5	Transport der Glucose in die Zellen extrahepatischer Gewebe	203
	Transport in Skelettmuskel- und Fettzellen	203
	Transport in die Zellen des ZNS und in Erythrozyten	204
	Rückresorption der Glucose in den Nierentubuluszellen	204
<b>12.2</b>	<b>Glykogensynthese</b>	<b>205</b>
12.2.1	Mechanismus der Glykogensynthese	205
	Einbau von Glucose in Glykogenmoleküle	205
	Neubildung von Glykogen	207
12.2.2	Regulation der Glykogensynthese	210
	Regulation bei steigendem Bedarf an Glucose	210
	Regulation bei Überangebot an Glucose	210
<b>12.3</b>	<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	214
	Energiebilanz	217
12.3.4	Ausgangsstoffe der Gluconeogenese	217
12.3.5	Regulation der Gluconeogenese	218
	Allosterische Regulation	219
	Hormonelle Regulation	219

## 13 Die Bereitstellung von Fettsäuren, Triacylglycerinen und Ketonkörpern ..... 221

*J. Rassow*

13.1	Überblick .....	221
13.2	Aufnahme der Lipide aus der Nahrung .....	221
13.2.1	Verdauung der Lipide .....	221
13.2.2	Resorption der Lipid-Hydrolyseprodukte ....	223
13.3	Fettsäuresynthese .....	225
13.3.1	Bereitstellung von Acetyl-CoA .....	226
13.3.2	Mechanismus der Fettsäuresynthese .....	226
	Prinzip .....	226
	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 ...	231
13.3.3	Regulation der Fettsäuresynthese .....	231
13.3.4	Bildung ungesättigter Fettsäuren .....	233
13.4	Woher stammt das NADPH für die Fettsäuresynthese? .....	234
13.4.1	Das Malat-Enzym als Quelle von NADPH für die Fettsäuresynthese .....	234
13.4.2	Der Pentosephosphatweg .....	235
	Grundlagen .....	235
	Abschnitte des Pentosephosphatwegs .....	235
	Reaktionsschritte des Pentosephosphatwegs ..	236
	Regulation .....	239
13.5	Lipogenese: Biosynthese der Triacylglycerine (TAG) .....	239
13.5.1	Reaktionsschritte der TAG-Synthese .....	239
13.5.2	Regulation der TAG-Synthese .....	241
13.6	Ketonkörpersynthese (Ketogenese) .....	242
13.6.1	Grundlagen .....	242
13.6.2	Die Reaktionen der Ketonkörpersynthese ...	242
13.7	Lipoproteine: Transport von Lipiden im Blut ..	243
13.7.1	Aufbau und Einteilung .....	243
13.7.2	Der Stoffwechsel der Lipoproteine .....	243
	Chylomikronen .....	243
	VLDL (Very low Density Lipoproteins) .....	245
	LDL (Low Density Lipoproteins) .....	246
	HDL (High Density Lipoproteins) .....	248

## 14 Proteine als Nahrungsmittel ..... 252

*J. Rassow*

14.1	Verdauung der Proteine .....	252
14.1.1	Hydrolyse der Proteine durch Proteasen ....	252
14.1.2	Resorption der Hydrolyseprodukte .....	253
14.2	Proteasen und ihre Reaktionsmechanismen ..	255
14.2.1	Vorkommen und Aufgaben der Proteasen ...	255
14.2.2	Reaktionsmechanismen .....	255
	Serin-Proteasen .....	255
	Metall-abhängige Proteasen .....	256
14.2.3	Proteaseinhibitoren .....	256

## 15 Regulation des Energiestoffwechsels ..... 258

*J. Rassow*

15.1	Einführung .....	258
15.2	Regulation bei kurzfristig erhöhtem Energiebedarf .....	258
15.3	Regulation bei Ausdauerleistungen .....	259
15.4	Regulation bei Nahrungsmangel .....	261
15.5	Regulation im Anschluss an eine Mahlzeit ...	264
15.6	Schlüsselenzyme des Energiestoffwechsels .....	266
15.7	Zentrale Kontrollpunkte in der Regulation des Energiestoffwechsels .....	269
15.7.1	Die Koordination des Energiestoffwechsels in den peripheren Organen .....	269
15.7.2	Die Regulation des Hungergefühls .....	270
	Leptin .....	270

## 16 Vitamine ..... 273

*K. Hauser*

16.1	Grundlagen .....	273
16.1.1	Vitaminbedarf .....	273
16.1.2	Vitaminosen .....	273
	Hypo- und Avitaminosen .....	273
	Hypervitaminosen .....	275
16.1.3	Einteilung der Vitamine .....	275
16.2	Fettlösliche Vitamine .....	275
16.2.1	Retinol – Vitamin A .....	275
16.2.2	Calciferole – Vitamin D .....	278
16.2.3	Tocopherol – Vitamin E .....	279
16.2.4	Vitaminosen .....	281
16.2.5	Phyllochinon – Vitamin K .....	281
16.3	Wasserlösliche Vitamine .....	283
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> .....	289
16.3.5	Pantothensäure .....	291
16.3.6	Folsäure .....	292
16.3.7	Cobalamin – Vitamin B <sub>12</sub> .....	297
16.3.8	Biotin .....	300
16.3.9	Ascorbinsäure – Vitamin C .....	301

## 17 Spurenelemente ..... 304

*K. Hauser*

17.1	Grundlagen .....	304
17.1.1	Einteilung der Spurenelemente .....	304
17.1.2	Bedarf an Spurenelementen .....	305
17.2	Die einzelnen Spurenelemente .....	305
17.2.1	Eisen .....	305
17.2.2	Magnesium .....	309
17.2.3	Kupfer .....	310
17.2.4	Zink .....	311
17.2.5	Mangan .....	313
17.2.6	Cobalt .....	313
17.2.7	Schwefel .....	314

17.2.8	Fluor	314
17.2.9	Iod	315
17.2.10	Selen	315
17.2.11	Molybdän	316
17.2.12	Chrom	316
17.2.13	Cadmium, Blei, Quecksilber	316

## Teil B Zellbiologie

### 1 Einführung ..... 321

*J. Rassow*

#### 1.1 Einführung ..... 321

### 2 Aufbau der Zelle ..... 323

*K. Hauser*

#### 2.1 Überblick ..... 323

#### 2.2 Aufbau der Prokaryontenzelle ..... 323

#### 2.3 Aufbau der Eukaryontenzelle ..... 324

##### 2.3.1 Besonderheiten in mehrzelligen Organismen ..... 325

##### 2.3.2 Vorteile der Kompartimentierung ..... 325

#### 2.4 Fraktionierung von Zellen ..... 325

### 3 Aufbau und Synthese biologischer Membranen ..... 328

*K. Hauser*

#### 3.1 Überblick ..... 328

#### 3.2 Membranlipide ..... 329

##### 3.2.1 Das Grundprinzip: Die Lipiddoppelschicht ... 329

##### 3.2.2 Struktur und Verteilung ..... 329

Phospholipide ..... 329

Glykolipide ..... 331

Cholesterin ..... 332

##### 3.2.3 Biosynthese ..... 333

Glycerophospholipide ..... 333

Sphingolipide ..... 336

Cholesterin ..... 336

##### 3.2.4 Abbau ..... 339

Glycerophospholipide ..... 339

Sphingolipide ..... 340

Cholesterin ..... 340

##### 3.2.5 Biosynthese von Membranen ..... 340

##### 3.2.6 Membranfluidität ..... 341

#### 3.3 Membranproteine ..... 341

##### 3.3.1 Aufbau ..... 341

Integrale Membranproteine ..... 341

Periphere Membranproteine ..... 342

##### 3.3.2 Funktion ..... 342

#### 3.4 Kohlenhydrate ..... 343

##### 3.4.1 Struktur ..... 343

N-Glykosylierung ..... 343

O-Glykosylierung ..... 344

##### 3.4.2 Funktion ..... 345

## 4 Funktion biologischer Membranen ..... 346

*K. Hauser*

### 4.1 Vielfalt der Membranfunktion ..... 346

### 4.2 Transport ..... 346

#### 4.2.1 Passiver und aktiver Transport ..... 346

Passiver Transport ..... 346

Aktiver Transport ..... 347

#### 4.2.2 Transportproteine in Membranen ..... 348

Ionenkanäle ..... 348

Porine ..... 348

Transporter ..... 348

#### 4.2.3 Transport mithilfe von Membranvesikeln ... 350

Endozytose ..... 351

Exozytose ..... 353

Transzytose ..... 353

Autophagozytose ..... 353

Vesikelfluss innerhalb der Zelle ..... 354

### 4.3 Signalvermittlung ..... 354

### 4.4 Vermittlung von Zell-Zell-Kontakten ..... 354

#### 4.4.1 Tight Junctions ..... 354

#### 4.4.2 Adhäsionsverbindungen ..... 354

#### 4.4.3 Desmosomen ..... 355

#### 4.4.4 Hemidesmosomen ..... 355

#### 4.4.5 Fokaladhäsionen ..... 356

#### 4.4.6 Gap Junctions ..... 356

## 5 Zellorganellen ..... 358

*K. Hauser*

### 5.1 Einführung ..... 358

### 5.2 Zytosol und Zytoplasma ..... 358

### 5.3 Zellkern ..... 358

#### 5.3.1 Aufbau ..... 359

Die Kernhülle ..... 359

Die Kernporen ..... 359

Der Nukleolus ..... 360

#### 5.3.2 Funktion ..... 361

Informationsspeicherung und DNA-Synthese ..... 361

RNA-Synthese ..... 361

NAD<sup>+</sup>-Synthese ..... 362

Zusammenbau der ribosomalen Unter-

einheiten ..... 362

### 5.4 Mitochondrien ..... 362

#### 5.4.1 Aufbau ..... 362

Endosymbiontentheorie ..... 363

#### 5.4.2 Funktion ..... 363

Innere Mitochondrienmembran ..... 363

Mitochondriale Matrix ..... 365

#### 5.4.3 Proteintransport ins Mitochondrium ..... 365

### 5.5 Endoplasmatisches Retikulum ..... 366

#### 5.5.1 Aufbau ..... 366

Raues ER ..... 366

Glattes ER ..... 367

#### 5.5.2 Funktion ..... 366

Golgi-Apparat ..... 368

#### 5.6 Golgi-Apparat ..... 368

Aufbau ..... 368

5.6.2	Funktion	368
	Glykosylierung von Proteinen und Membranlipiden	368
	Proteinsortierung	368
5.7	<b>Lysosomen</b>	370
5.7.1	Aufbau	370
5.7.2	Funktion	371
5.7.3	Biogenese	372
5.8	<b>Peroxisomen</b>	372
5.8.1	Aufbau	372
5.8.2	Funktion	372
5.8.3	Biogenese	373
5.9	<b>Proteasom</b>	373
5.9.1	Aufbau	373
5.9.2	Funktion	374
5.9.3	Das Ubiquitinsystem	374

## 6 Zytoskelett 376

*K. Hauser*

6.1	<b>Überblick</b>	376
6.2	<b>Mikrofilamente</b>	376
6.2.1	Aufbau	376
6.2.2	Funktion	377
6.3	<b>Mikrotubuli</b>	378
6.3.1	Aufbau	378
6.3.2	Funktion	380
	Formgebung	380
	Transport	380
6.3.3	Komplexe Mikrotubulistrukturen	381
	Zentriolen und Basalkörper	381
	Kinozilien und Flagellen	382
	Kernteilungsspindel	383
6.4	<b>Intermediärfilamente</b>	383
6.4.1	Aufbau	383
6.4.2	Funktion	384
	Keratinfilamente	384
	Neurofilamente	385
	Vimentinfilamente	385
	Laminfilamente	385

## 7 Extrazelluläre Matrix 386

*K. Hauser*

7.1	<b>Überblick</b>	386
7.2	<b>Komponenten der extrazellulären Matrix</b>	386
7.2.1	Kollagen	387
	Struktur	387
	Biosynthese	388
7.2.2	Elastin	391
7.2.3	Glykosaminoglykane	392
	Aufbau	392
	Biosynthese	394
	Abbau	394
	Funktion	394
7.2.4	Proteoglykane	394
	Aggrecan	395
	Decorin	395
	Perlecan	395

7.2.5	Nicht kollagene Glykoproteine	396
	Fibronektin	396
	Laminin	397
7.3	<b>Abbau der extrazellulären Matrix</b>	397
7.4	<b>Extrazelluläre Matrix des Knochens</b>	398
7.4.1	Anorganische Matrix	398
7.4.2	Organische Matrix	398
7.5	<b>Extrazelluläre Matrix des Knorpels</b>	398

## Teil C Zellzyklus und molekulare Genetik

*R. Netzker*

### 1 Nukleotide 401

1.1	<b>Einführung</b>	401
1.2	<b>Aufbau der Nukleotide</b>	401
1.3	<b>Funktionen der Nukleotide</b>	403
1.3.1	Energieträger	403
1.3.2	Synthesestufen	404
	Bausteine von DNA und RNA	404
	Vorstufen weiterer Synthesen	405
1.3.3	Bestandteil von Coenzymen	405
1.3.4	Signalmoleküle	405
1.3.5	Allosterische Effektoren	405
1.4	<b>Stoffwechsel der Nukleotide</b>	406
1.4.1	Stoffwechsel der Purinnukleotide	406
	De-novo-Synthese der Purinnukleotide	406
	Energiebilanz und Regulation der De-novo-Synthese	407
	Abbau der Purinnukleotide	409
	Wiederverwertung der Purine (Salvage Pathway)	411
1.4.2	Stoffwechsel der Pyrimidinnukleotide	411
	Synthese der Pyrimidinnukleotide	411
	Abbau der Pyrimidinnukleotide	413
1.4.3	Synthese von Desoxyribonukleotiden aus Ribonukleotiden	413
	Desoxyribonukleotide mit den Basen Adenin, Guanin und Cytosin	413
	Desoxyribonukleotide mit der Base Thymin	415

### 2 Nukleinsäuren (Polynukleotide) 417

2.1	<b>Grundlagen</b>	417
2.2	<b>DNA</b>	419
2.2.1	Die DNA-Doppelhelix	419
2.2.2	Die Verpackung der DNA	420
2.3	<b>RNA</b>	421
2.3.1	Struktur	421
2.3.2	Typen der RNA	422
2.4	<b>Das humane Genom</b>	422

<b>3</b>	<b>Einführung in die Molekularbiologie</b>	<b>423</b>	<b>5.5</b>	<b>Proteinfaltung</b>	<b>466</b>
3.1	Grundbegriffe	423	5.5.1	Motor und Ablauf der Proteinfaltung	466
3.2	Zentrales Dogma der Molekularbiologie	423	5.5.2	An der Proteinfaltung beteiligte Proteine	467
<b>4</b>	<b>Replikation der DNA</b>	<b>425</b>		Chaperone	467
4.1	Einführung	425		Faltungshelferenzyme	469
4.2	Ablauf der Replikation	425	<b>5.6</b>	<b>Cotranslatationaler Proteintransport in das endoplasmatische Retikulum</b>	<b>470</b>
4.2.1	Überblick	425	<b>5.7</b>	<b>Co- und posttranslationale Modifikation von Proteinen</b>	<b>470</b>
4.2.2	Erkennung der Replikationsstartstelle(n) und Strangtrennung	426	<b>6</b>	<b>Gentechnik und Nachweis bzw. Analyse von Nukleinsäuren</b>	<b>473</b>
4.2.3	Synthese des Primers	427	6.1	Einführung	473
4.2.4	DNA-Synthese	427	6.2	Die Werkzeuge	474
	Prinzip	427	6.2.1	Plasmide	474
	Reaktionsmechanismus	428		Natürliche Funktion	474
4.2.5	Ligation der Okazaki-Fragmente	429		Anwendung	476
4.2.6	Replikation eukaryontischer Chromosomen-Enden	430	6.2.2	Restriktionsendonukleasen	476
4.3	Hemmstoffe der Replikation	431		Natürliche Funktion und Eigenschaften	476
<b>5</b>	<b>Genexpression</b>	<b>432</b>		Anwendung in der Gentechnik	477
5.1	Überblick	432	6.2.3	Reverse Transkriptase	477
5.2	Transkription	433		Natürliche Funktion und Eigenschaften	477
5.2.1	Die Transkriptionsprodukte: die verschiedenen RNA-Typen	433		Anwendung in der Gentechnik	478
	Kodierende RNA-Typen	433	6.2.4	Weitere Enzyme	478
	Nicht kodierende RNA-Typen	434	6.3	Methodik der Gentechnik: Klonierung	478
5.2.2	Die Transkriptionsenzyme: RNA-Polymerasen	437	6.3.1	Werkzeuge	478
	Prokaryontische RNA-Polymerase	437		Spender-DNA	478
	Eukaryontische RNA-Polymerasen	437		Klonierungsvektoren	478
5.2.3	Ablauf der Transkription	438		Restriktionsendonukleasen und DNA-Ligasen	479
	Ablauf der Transkription bei Prokaryonten	438		Empfängerzellen	480
	Ablauf der Transkription bei Eukaryonten	440	6.3.2	DNA-Transfermethoden	480
5.2.4	Regulation der Transkription	442		DNA-Transfer in Bakterien	480
	Regulation der Transkription prokaryontischer Gene	443		DNA-Transfer in Eukaryonten: Transfektion	481
	Regulation der Transkription eukaryontischer Gene	446	6.3.3	Ablauf einer Klonierung	481
5.2.5	Hemmstoffe der Transkription	449	6.3.4	Einsatzgebiete	481
5.3	Entstehung und Nachbearbeitung der mRNA	449	6.4	Nachweis und Analyse von Nukleinsäuren	482
5.3.1	Prozessierung der hnRNA	450	6.4.1	Polymerasekettenreaktion (PCR)	482
	Capping	450	6.4.2	Reverse Transkriptions-Polymerasekettenreaktion (RT-PCR)	484
	Splicing	450	6.4.3	Agarose- und Polyacrylamid-Gelelektrophorese	484
	Polyadenylierung	453	6.4.4	Blot-Hybridisierung	485
5.3.2	RNA-Editing	453		Southern-Blot	485
	A-zu-I-RNA-Editing	454		Northern-Blot	486
	C-zu-U-Editing	454		Western-Blot	486
5.4	Translation	455	6.4.5	Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus (RFLP)	486
5.4.1	Der genetische Code	455	6.4.6	DNA-Profilanalyse (Genetischer Fingerabdruck)	487
5.4.2	Beladung der tRNAs mit Aminosäuren	456		Grundlagen	487
5.4.3	Ablauf der Translation	457		Verfahren zur DNA-Profilanalyse	488
	Initiation	458	6.4.7	DNA-Sequenzierung	488
	Elongation	460		RNA-Interferenz	490
	Termination	462	6.4.8	Knock-out-Tiere und transgene Tiere	490
5.4.4	Hemmstoffe der Translation	462			
	Posttranskriptionelle und translationale Regulation durch kleine RNA	464			

## **7 Mutationen und DNA-Reparatur .. 492**

<b>7.1 Mutationen .....</b>	<b>492</b>
7.1.1 Mutationsformen .....	492
Genommutation .....	492
Chromosomenmutation .....	492
Gen- und Punktmutation .....	493
7.1.2 Entstehung von Mutationen .....	494
Mechanismen endogener DNA-Schäden ....	494
Mechanismen exogener DNA-Schäden .....	495
<b>7.2 Reparatur der DNA-Schäden .....</b>	<b>496</b>
7.2.1 Direkte Reparatur .....	496
Photoreaktivierung .....	496
Reparatur von Alkylschäden .....	496
7.2.2 Basen-Exzisionsreparatur .....	496
7.2.3 Nukleotid-Exzisionsreparatur .....	498
<b>7.3 Kontrolle der Replikationsgenauigkeit und Fehlpaarungsreparatur (Mismatch-Reparatur) .....</b>	<b>499</b>
<b>7.4 Reparatur von Doppelstrangbrüchen .....</b>	<b>500</b>

## **8 Der Zellzyklus .....** 501

<b>8.1 Ablauf .....</b>	<b>501</b>
<b>8.2 Regulation .....</b>	<b>502</b>
8.2.1 Kontrollpunkte im Zellzyklus .....	502
8.2.2 Komponenten des Zellzyklus-Kontrollsystems .....	503
8.2.3 Steuerung der Phasenübergänge bzw. der S-Phase .....	504
Steuerung des G1/S-Übergangs .....	504
Kontrolle der S-Phase .....	505
Steuerung des G2/M-Übergangs .....	505

## **9 Die Apoptose .....** 506

<b>9.1 Einführung .....</b>	<b>506</b>
<b>9.2 Bedeutung der Apoptose .....</b>	<b>506</b>
<b>9.3 Komponenten des Apoptose-Apparates .....</b>	<b>507</b>
9.3.1 Caspasen .....	507
9.3.2 Proteine der Bcl-2-Familie .....	507
9.3.3 Inhibitors of Apoptosis Proteins (IAPs) .....	508
<b>9.4 Auslösung der Apoptose .....</b>	<b>508</b>
9.4.1 Extrinsischer Signalweg .....	508
9.4.2 Intrinsischer Signalweg .....	509
9.4.3 Granzym/Perforin-Weg .....	509
<b>9.5 Wirkung der Effektor-Caspasen .....</b>	<b>510</b>
<b>9.6 Fehlregulationen der Apoptose .....</b>	<b>510</b>

## **10 Molekulare Onkologie .....** 511

<b>10.1 Einführung .....</b>	<b>511</b>
<b>10.2 Tumorentstehung (Kanzergenese) .....</b>	<b>512</b>
10.2.1 Somatische Mutationen als Auslöser der Transformation .....	512
Protoonkogene .....	512
Mutation von Protoonkogenen zu Onkogenen .....	513
Tumorsuppressorgene .....	515
10.2.2 Die Bedeutung regulatorischer RNA für die Tumorentstehung .....	518

10.2.3 Tumoviren als Auslöser der Transformation .	518
Retroviren .....	519
Papillomaviren .....	519
10.2.4 Bakterien als biologisches Karzinogen .....	520
<b>10.3 Tumorentwicklung: Die Bildung von Tumorgefäßen und Tochterkolonien .....</b>	<b>520</b>
10.3.1 Angiogenese .....	521
10.3.2 Metastasierung .....	521
<b>10.4 Tumorthherapie .....</b>	<b>522</b>
10.4.1 Zytostatika .....	522
10.4.2 Neuere Entwicklungen in der Tumorthherapie .....	523
Hormonantagonisten .....	523
Monoklonale Antikörper .....	523
Tyrosinkinase-Hemmer .....	523
Angiogenese-Hemmer .....	523

## **Teil D Zelluläre Kommunikation**

*R. Deutzmann*

### **1 Grundlagen .....** 527

<b>1.1 Einführung .....</b>	<b>527</b>
<b>1.2 Prinzipien der Signalübertragung zwischen Zellen .....</b>	<b>527</b>
1.2.1 Gap Junctions .....	528
1.2.2 Zell-Zell- und Zell-Matrix-Interaktion .....	528
1.2.3 Extrazelluläre Signalübertragung .....	528
Endokrine Signalübermittlung .....	528
Parakrine Signalübermittlung .....	528
Autokrine Signalübermittlung .....	529
<b>1.3 Hormone und Zytokine .....</b>	<b>529</b>
1.3.1 Einteilung der Hormone .....	529
Glanduläre Hormone .....	529
Aglanduläre Hormone .....	529
1.3.2 Eigenschaften und Wirkprinzip von Hormonen .....	529
1.3.3 Hormonelle Regelkreise .....	531
Einfache Rückkopplung (biologischer Regelkreis) .....	531
Steuerung über das ZNS (neuroendokrine Systeme) .....	531
1.3.4 Zytokine .....	532
<b>1.4 Nachweismethoden .....</b>	<b>532</b>
1.4.1 Radioimmunoassay (RIA) .....	532
1.4.2 Enzyme-linked immunosorbent Assay (ELISA) .....	533

### **2 Mechanismen der Signaltransduktion .....** 534

<b>2.1 Einführung .....</b>	<b>534</b>
<b>2.2 Rezeptoren in der Zellmembran .....</b>	<b>535</b>
2.2.1 G-Protein-gekoppelte Rezeptoren .....	535
Mechanismus der Signaltransduktion .....	535
Die Adenylatzyklasen .....	538
Die Phospholipase C $\beta$ .....	541
Wirkungen der G $_{12/13}$ -Untereinheiten .....	545





4.1.2	Wirkungen .....	629	1.3.4	Das erworbene Immunschwächesyndrom (AIDS) .....	680
	Prostaglandine und Thromboxan A <sub>2</sub> .....	629	1.3.5	Allergie .....	681
	Leukotriene .....	632	1.4	<b>Entzündung</b> .....	<b>686</b>
4.2	<b>Stickstoffmonoxid (NO)</b> .....	<b>633</b>	1.4.1	Grundlagen .....	686
4.2.1	Biosynthese und Inaktivierung .....	633	1.4.2	Die Aktivierung der Leukozyten .....	687
4.2.2	Wirkungen .....	634	1.4.3	Die Leukozyten im Entzündungsherd .....	688
4.3	<b>Kinine</b> .....	<b>635</b>		Neutrophile Granulozyten .....	688
4.3.1	Biosynthese und Inaktivierung .....	635		Monozyten und Makrophagen .....	689
	Biosynthese .....	635	1.4.4	Entzündung als zentrales Konzept der molekularen Pathologie .....	689
	Prozessierung und Inaktivierung .....	635	1.5	<b>Mediatoren des Immunsystems</b> .....	<b>691</b>
4.3.2	Wirkungen .....	636		Interferone (IFN) .....	691
4.4	<b>Histamin</b> .....	<b>637</b>		Interleukine .....	691
4.4.1	Biosynthese, Speicherung und Inaktivierung .....	637		TNF $\alpha$ .....	692
4.4.2	Wirkungen .....	637		TGF- $\beta$ .....	692
4.5	<b>Serotonin (5-Hydroxytryptamin)</b> .....	<b>639</b>		Weitere Mediatoren .....	692
4.5.1	Biosynthese, Speicherung und Inaktivierung .....	639	1.6	<b>Immunologie der Blutgruppenantigene</b> .....	<b>693</b>
4.5.2	Wirkungen .....	640	1.6.1	Das ABO-System .....	693
5	<b>Zytokine</b> .....	<b>645</b>	1.6.2	Das Rhesus-System .....	694
5.1	<b>Grundlagen</b> .....	<b>645</b>	1.7	<b>Tumorimmunologie</b> .....	<b>695</b>
5.2	<b>Wachstumsfaktoren</b> .....	<b>645</b>	2	<b>Blutstillung und Blutgerinnung</b> ...	<b>699</b>
5.3	<b>Zytokine mit Wirkung auf die Hämatopoese</b> .....	<b>648</b>	2.1	<b>Einführung</b> .....	<b>699</b>
5.4	<b>Zytokine des Immunsystems</b> .....	<b>650</b>	2.2	<b>Blutstillung: Aktivierung und Aggregation von Thrombozyten</b> .....	<b>699</b>
			2.2.1	Thrombozytenadhäsion .....	699
			2.2.2	Thrombozytenaggregation .....	700
			2.2.3	Freisetzung von Inhaltsstoffen aus aktivierten Thrombozyten .....	702
			2.2.4	Hemmung der Thrombozytenaggregation am intakten Endothel .....	704
			2.3	<b>Blutgerinnung</b> .....	<b>704</b>
			2.3.1	Das Prinzip .....	704
			2.3.2	Die Blutgerinnung im Detail .....	705
				Auslösung und Beschleunigung der Gerinnung .....	705
				Zusammenfassung und Überblick .....	708
				Vitamin K, $\gamma$ -Carboxylierung und Calcium-Ionen .....	709
			2.4	<b>Fibrinolyse</b> .....	<b>711</b>
			2.5	<b>Hemmung der Blutgerinnung</b> .....	<b>711</b>
			2.6	<b>Thrombusbildung und Ischämie</b> .....	<b>713</b>

## Teil E Infektionen, Verletzungen und Vergiftungen

J. Rassow

1	<b>Molekulare Immunologie</b> .....	<b>653</b>	3	<b>Entgiftung</b> .....	<b>718</b>
1.1	<b>Einführung</b> .....	<b>653</b>	3.1	<b>Entgiftung organischer Fremdstoffe: Biotransformation</b> .....	<b>718</b>
1.2	<b>Das angeborene (unspezifische) Immunsystem</b> .....	<b>654</b>	3.1.1	Phase-I-Reaktionen .....	719
1.2.1	Abwehr von Mikroorganismen an Oberflächen .....	654		Cytochrom-P-450-Enzyme .....	719
1.2.2	Erkennung von Mikroorganismen durch das angeborene Immunsystem .....	657		Weitere Enzyme der Phase-I-Reaktionen ....	721
	Das Komplementsystem .....	657	3.1.2	Phase-II-Reaktionen .....	722
	Rezeptorproteine des angeborenen Immunsystems .....	660	3.2	<b>Die Entgiftung anorganischer Fremdstoffe: Stoffwechsel der Schwermetalle</b> .....	<b>724</b>
1.3	<b>Das adaptive Immunsystem</b> .....	<b>662</b>			
1.3.1	Einführung .....	662			
1.3.2	Antikörper .....	663			
	IgG .....	663			
	IgA .....	665			
	IgM .....	666			
	IgD und IgE .....	667			
	Genetische Grundlagen der Antikörpervielfalt .....	668			
	Polyklonale und monoklonale Antikörper ...	670			
1.3.3	Zelluläre und molekulare Grundlagen adaptiver Immunantworten .....	670			
	Auslösung einer adaptiven Immunantwort ..	670			
	B-Zellen .....	673			
	T-Zellen .....	676			

## Teil F Blut, Leber und Niere

J. Rassow

<b>1</b>	<b>Biochemie des Blutes</b>	<b>727</b>
1.1	Einführung	727
1.2	Transport von O <sub>2</sub> und CO <sub>2</sub> im Blut	727
1.2.1	O <sub>2</sub> -Transport durch Hämoglobin	727
	Die strukturellen Grundlagen der O <sub>2</sub> -Bindung des Hämoglobins	728
	Die Regulation der O <sub>2</sub> -Bindung des Hämoglobins	731
1.2.2	Transport von CO <sub>2</sub>	733
1.2.3	Die verschiedenen Hämoglobine des Menschen	734
1.2.4	Schutz des Hämoglobins vor Oxidation	735
1.3	Erythropoese und Porphyrinstoffwechsel	738
1.3.1	Erythropoese	738
1.3.2	Hämbiosynthese	739
1.3.3	Häm-Abbau	740
1.4	Die Proteine des Blutserums	744
<b>2</b>	<b>Biochemie der Leber</b>	<b>745</b>
2.1	Einführung	745
2.2	Stoffwechselfunktionen der Leber	746
2.2.1	Konstanthaltung des Blutzuckerspiegels	746
2.2.2	Synthese von Ketonkörpern, Triacylglycerinen und Cholesterin	747
2.2.3	Aufgaben der Leber im Aminosäurestoffwechsel	747
2.3	Produktion von Serumproteinen	748
2.4	Ausscheidungsfunktion der Leber	748
2.4.1	Bestandteile der Galle	748
2.4.2	Gallesekretion	749
<b>3</b>	<b>Biochemie der Niere</b>	<b>750</b>
3.1	Einführung	750
3.2	Ultrafiltration im Nierenkörperchen	751
3.3	Funktionen des proximalen Tubulus	752
3.3.1	Gluconeogenese	752
3.3.2	Resorption und Sekretion	753
3.4	Funktionen der Henle-Schleife	755
3.5	Funktion des distalen Tubulus und des Sammelrohrs	756
3.6	Regulation der Nierenfunktionen	757
3.6.1	Das antidiuretische Hormon ADH (Vasopressin)	757
3.6.2	Aldosteron	757
3.6.3	Funktionen des juxtaglomerulären Apparates	757
3.6.4	Das atriale natriuretische Peptid und andere Peptidhormone	758
3.7	Aufgaben der Niere im Säure-Basen- und Stickstoffhaushalt	758

## Teil G Muskulatur und Nervensystem

J. Rassow

<b>1</b>	<b>Biochemie der Muskulatur</b>	<b>765</b>
1.1	Übersicht	765
1.2	Muskelgewebe	765
1.2.1	Einteilung und Aufbau	765
	Skelettmuskulatur	765
	Herzmuskulatur	767
	Glatte Muskulatur	767
1.3	Molekulare Mechanismen der Muskelkontraktion	768
1.3.1	Querbrückenzyklus	768
1.3.2	Kontrolle der Aktin-Myosin-Bindung	769
1.3.3	Elektromechanische Kopplung	770
1.4	Muskelkrankheiten (Myopathien)	774
1.4.1	Myasthenia gravis	774
1.4.2	Muskeldystrophien	774
1.4.3	Metabolische Muskelkrankheiten	775
1.4.4	Dilatative Kardiomyopathie	775
<b>2</b>	<b>Neurochemie</b>	<b>778</b>
2.1	Einführung	778
2.2	Energiestoffwechsel des Nervensystems	778
2.3	Gliazellen und Myelin	779
2.4	Schrankensysteme des ZNS	781
2.4.1	Blut-Hirn-Schranke	781
2.4.2	Blut-Liquor-Schranke (inkl. Liquor)	782
2.5	Ionenkanäle	782
2.5.1	Struktur und Funktion der Ionenkanäle	782
2.5.2	Röntgenkristallstrukturen der Ionenkanäle	785
2.6	Synapsen, motorische Endplatte und nicotinischer Acetylcholinrezeptor	789
2.7	Neurotransmitter	793
2.7.1	Acetylcholin (ACh)	793
2.7.2	Glutamat (Glu)	794
2.7.3	Katecholamine	794
	Noradrenalin	795
	Dopamin	796
2.7.4	Serotonin	796
2.7.5	GABA	798
2.7.6	Glycin	799
2.7.7	Neuropeptide	800
	Opioide	800
	Purine	801
2.8	Wichtige Erkrankungen des ZNS	802
2.8.1	Multiple Sklerose (MS)	802
2.8.2	Alzheimer-Krankheit	803
2.8.3	Parkinson-Krankheit	806
2.8.4	Chorea Huntington	808
2.9	Sinnesorgane und Sinneszellen	809
2.9.1	Riechsinneszellen	809
2.9.2	Geschmackssinneszellen	810
2.9.3	Das Ohr: Hören und Gleichgewicht	810
2.9.4	Das Auge	811

# Teil H Ausblick

*J. Rassow*

<b>1</b>	<b>Biochemie des langen Lebens . . . . .</b>	<b>818</b>
1.1	Hat sich der Einzug der Wissenschaften in die Medizin gelohnt? . . . . .	818
1.2	Gibt es Unsterblichkeit? . . . . .	819
1.3	Was setzt dem Leben der Zellen höherer Eukaryonten ein Ende? . . . . .	820

1.4	Was schädigt die Zellen? . . . . .	821
1.5	Geht die Zellalterung von den Mitochondrien aus? . . . . .	822
1.6	Überlebensstrategien . . . . .	823
1.7	Überlebensmutanten . . . . .	824
1.8	Was kann man tun? . . . . .	826

<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>827</b>
----------------------------------	------------