

Peter C. Heinrich • Matthias Müller
Lutz Graeve • Hans-Georg Koch
Hrsg.

Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie

10., vollständig überarbeitete Auflage

 Springer

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen der Biochemie und Molekularen Zellbiologie

1	Ohne Wasser kein Leben	3
	<i>Peter C. Heinrich</i>	
1.1	Eigenschaften des Wassers	3
1.2	Kolligative Eigenschaften des flüssigen Wassers und osmotischer Druck	7
1.3	Autoprotolyse von Wasser, pH-Wert	9
1.4	Säuren und Basen	11
1.5	Puffersysteme	11
	Weiterführende Literatur	15
2	Vom Molekül zum Organismus	17
	<i>Hartmut Follmann und Peter C. Heinrich</i>	
2.1	Die chemischen Elemente lebender Organismen	18
2.2	Charakteristische Eigenschaften organischer Biomoleküle	19
2.3	Von chemischer Materie zu biologischer Vielfalt	27
	Weiterführende Literatur	32
3	Kohlenhydrate, Lipide, Aminosäuren und Nucleotide – Bausteine des Lebens	33
	<i>Georg Löffler und Matthias Müller</i>	
3.1	Kohlenhydrate	33
3.2	Lipide	41
3.3	Aminosäuren	48
3.4	Nucleotide	52
3.5	Übersichtstafeln	56
	Weiterführende Literatur	65
4	Thermodynamik und Bioenergetik	67
	<i>Thomas Kriegel und Wolfgang Schellenberger</i>	
4.1	Thermodynamische Grundlagen	67
4.2	Energietransformation und energetische Kopplung	73
4.3	Verbindungen mit hohem Gruppenübertragungspotenzial	74
	Weiterführende Literatur	77
5	Proteine – Struktur und Funktion	79
	<i>Hans Robert Kalbitzer</i>	
5.1	Aufbau von Proteinen	79
5.2	Konformation von Proteinen	81
5.3	Hämoglobin und Myoglobin: Ein wichtiges Beispiel für die Konformationsabhängigkeit funktioneller Eigenschaften	95
5.4	Physiologische und pathologische Faltungsprozesse bei Proteinen	101
5.5	Proteinevolution	106
	Weiterführende Literatur	108
6	Proteine – Analytische Untersuchungsmethoden, Synthese und Isolierung	109
	<i>Hans Robert Kalbitzer</i>	
6.1	Isolation und Reinigung von Proteinen	109

6.2	Charakterisierung von Proteinen	114
6.3	Nachweisverfahren und Identifizierung von Proteinen	117
6.4	Nachweis und Analytik von Protein-Protein- und Protein-Liganden-Wechselwirkungen	120
6.5	Methoden zur Aufklärung der dreidimensionalen Struktur von Proteinen	121
6.6	Proteombestimmung (Proteomik)	126
6.7	Synthese von Peptiden und Proteinen	128
	Weiterführende Literatur.....	129
7	Molekulare und funktionelle Grundlagen der Biokatalyse durch Enzyme	131
	<i>Thomas Kriegel und Wolfgang Schellenberger</i>	
7.1	Struktur und Funktion der Enzyme	131
7.2	Nomenklatur und Klassifizierung der Enzyme	137
7.3	Multiple Formen von Enzymen	138
7.4	Mechanismen der Enzymkatalyse	139
7.5	Definition, Maßeinheiten und Bestimmung der Enzymaktivität	141
7.6	Kinetik enzymkatalysierter Reaktionen	143
7.7	Experimentelle Bestimmung enzymkinetischer Parameter	145
	Weiterführende Literatur.....	147
8	Regulation der Enzymaktivität	149
	<i>Thomas Kriegel und Wolfgang Schellenberger</i>	
8.1	Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Enzymaktivität	149
8.2	Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Enzym- und Substratkonzentration	151
8.3	Regulation der Enzymaktivität durch Hemmstoffe	151
8.4	Allosterische Regulation der Enzymaktivität	156
8.5	Regulation der Enzymaktivität durch covalente Modifikation des Enzymproteins	159
8.6	Regulation der Enzymaktivität durch Protein-Protein-Wechselwirkung	161
	Weiterführende Literatur.....	161
9	Enzyme in Analytik, Diagnostik und Therapie	163
	<i>Thomas Kriegel und Wolfgang Schellenberger</i>	
9.1	Einsatz von Enzymen in der Medizin	163
9.2	Bestimmung von Enzymen in biologischen Flüssigkeiten	164
9.3	Enzyme als Zielstrukturen von Pharmaka	167
9.4	Enzymdesign für biomedizinische und biotechnologische Anwendungen	169
	Weiterführende Literatur.....	170
10	Nucleinsäuren – Struktur und Funktion	171
	<i>Hans-Georg Koch, Jan Brix und Peter C. Heinrich</i>	
10.1	Struktur und Funktion von DNA und RNA	171
10.2	Die DNA-Struktur	173
10.3	DNA als Trägerin der Erbinformation	185
10.4	Funktion und Struktur der RNA	192
	Weiterführende Literatur.....	195
11	Biomembranen	197
	<i>Lutz Graeve und Matthias Müller</i>	
11.1	Aufbau und Eigenschaften von Biomembranen	197
11.2	Membranfluidität	199
11.3	Membranmikrodomänen	200

11.4	Membranproteine	201
11.5	Transport durch Membranen	202
11.6	Biosynthese von Membranen	204
	Weiterführende Literatur.....	206
12	Zellorganellen und Vesikeltransport	207
	<i>Lutz Graeve und Matthias Müller</i>	
12.1	Die Zellkompartimente	208
12.2	Vesikulärer Transport	219
12.3	Proteinsortierung	223
12.4	Viren	223
	Weiterführende Literatur.....	227
13	Cytoskelett	229
	<i>Lutz Graeve und Matthias Müller</i>	
13.1	Aufbau und Funktion der Elemente des Cytoskeletts	229
13.2	Mikro- oder Actinfilamente	231
13.3	Mikrotubuli	233
13.4	Intermediärfilamente	235
13.5	Motorproteine	235
	Weiterführende Literatur.....	236
 II Zellulärer Metabolismus		
14	Glucose – Schlüsselmolekül des Kohlenhydratstoffwechsels	241
	<i>Matthias Müller und Georg Löffler</i>	
14.1	Katabole Verwertung von Glucose und Fructose	241
14.2	Bildung und Verwertung der Glycogenspeicher	253
14.3	Die Gluconeogenese – endogene Glucoseproduktion	257
	Weiterführende Literatur.....	260
15	Mechanismen der Glucosehomöostase	261
	<i>Matthias Müller und Georg Löffler</i>	
15.1	Glucosetransport durch Membranen	261
15.2	Regulierte Leerung und Füllung der Glycogenspeicher	266
15.3	Steuerung von Glucoseabbau und Glucoseproduktion	272
	Weiterführende Literatur.....	277
16	Zucker – Bausteine von Glycoproteinen und anderen Heteroglycanen	279
	<i>Matthias Müller und Georg Löffler</i>	
16.1	Glucose als Substrat für die Biosynthese anderer Zucker, Aminosucker und Zuckersäuren	279
16.2	Die Saccharide von Proteoglycanen, Hyaluronsäure und Peptidoglycan	285
	Weiterführende Literatur.....	288
17	Pathobiochemie des Kohlenhydratstoffwechsels	289
	<i>Georg Löffler und Matthias Müller</i>	
17.1	Erworbene pathologische Veränderungen des Kohlenhydratstoffwechsels	289
17.2	Hereditäre Defekte des Kohlenhydratstoffwechsels	292
	Weiterführende Literatur.....	294

18	Der Citratzyklus – Abbau von Acetyl-CoA zu CO₂	295
	<i>Ulrich Brandt</i>	
18.1	Stoffwechselbedeutung des Citratzyklus.....	295
18.2	Einzelreaktionen des Citratzyklus.....	296
18.3	Regulierte Schritte im Citratzyklus.....	301
18.4	Anabole Reaktionen im Citratzyklus.....	303
18.5	Pathobiochemie.....	304
	Weiterführende Literatur.....	305
19	Mitochondrien – Organellen der ATP-Gewinnung	307
	<i>Ulrich Brandt</i>	
19.1	Die mitochondriale Energietransformation.....	307
19.2	Pathobiochemie der Mitochondrien.....	324
	Weiterführende Literatur.....	326
20	Oxidoreduktasen und reaktive Sauerstoffspezies	329
	<i>Ulrich Brandt</i>	
20.1	Katalyse von Redoxreaktionen durch Oxidoreduktasen.....	329
20.2	Reaktive Sauerstoffspezies (ROS).....	332
	Weiterführende Literatur.....	335
21	Lipogenese und Lipolyse – Bildung und Verwertung der Fettspeicher	337
	<i>Georg Löffler und Lutz Graeve</i>	
21.1	Aufbau und Abbau von Triacylglycerinen.....	337
21.2	Abbau und Aufbau von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren.....	344
21.3	Regulation von Lipogenese und Lipolyse.....	358
	Weiterführende Literatur.....	362
22	Stoffwechsel von Phosphoglyceriden und Sphingolipiden	363
	<i>Georg Löffler und Lutz Graeve</i>	
22.1	Synthese und Abbau von Phosphoglyceriden.....	363
22.2	Synthese und Abbau von Sphingolipiden.....	369
22.3	Funktionelle Metabolite von Membranlipiden.....	372
	Weiterführende Literatur.....	378
23	Stoffwechsel von Cholesterin	379
	<i>Peter C. Heinrich und Georg Löffler</i>	
23.1	Cholesterin – Membranlipid und Ausgangssubstanz von Steroidhormonen, Gallensäuren und Vitamin D.....	380
23.2	Synthese von Isoprenlipiden und Cholesterin.....	381
23.3	Regulation der Cholesterinbiosynthese.....	384
23.4	Pathobiochemie.....	387
	Weiterführende Literatur.....	388
24	Lipoproteine – Transportformen der Lipide im Blut	389
	<i>Peter C. Heinrich und Georg Löffler</i>	
24.1	Zusammensetzung der Lipoproteine.....	389
24.2	Funktion und Umsatz einzelner Lipoproteine.....	392
	Weiterführende Literatur.....	399

25	Pathobiochemie des Lipidstoffwechsels	401
	<i>Georg Löffler und Peter C. Heinrich</i>	
25.1	Störungen des Fettsäure-Stoffwechsels.....	401
25.2	Störungen und pharmakologische Beeinflussung des Eicosanoid-Stoffwechsels.....	402
25.3	Störungen des Stoffwechsels von Phosphoglyceriden und Sphingolipiden	404
25.4	Störungen des Lipoprotein-Stoffwechsels.....	405
	Weiterführende Literatur.....	409
26	Prinzipien von Aminosäurestoffwechsel und Stickstoffumsatz	411
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
26.1	Beziehung zwischen Stickstoff, Ammoniak und Aminosäurestoffwechsel.....	411
26.2	Stickstoffumsatz im menschlichen Organismus.....	413
26.3	Enzymatische Mechanismen des Aminosäurestoffwechsels.....	416
26.4	Prinzipien des Aminosäureabbaus beim Menschen.....	421
	Weiterführende Literatur.....	424
27	Funktioneller Aminosäurestoffwechsel	425
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
27.1	Organspezifische Aspekte.....	425
27.2	Stoffwechsel einzelner Aminosäuren.....	433
	Weiterführende Literatur.....	455
28	Pathobiochemie des Aminosäurestoffwechsels	457
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
28.1	Neurotoxizität von Ammoniak	457
28.2	Angeborene Störungen im Aminosäurestoffwechsel	458
28.3	Aminosäurestoffwechsel von Tumorzellen	461
28.4	Aminosäurestoffwechsel in Therapie und Diagnostik.....	462
	Weiterführende Literatur.....	464
29	Purinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau	465
	<i>Monika Löffler</i>	
29.1	Biosynthese von Purinnucleotiden	465
29.2	Regulation der Biosynthese von Purinnucleotiden.....	469
29.3	Wiederverwertung von Purinen	470
29.4	Abbau von Purinnucleotiden.....	472
	Weiterführende Literatur.....	474
30	Pyrimidinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau	475
	<i>Monika Löffler</i>	
30.1	Biosynthese von Pyrimidinnucleotiden	475
30.2	Biosynthese von Desoxyribonucleotiden.....	477
30.3	Regulation der Biosynthese von Pyrimidinnucleotiden.....	479
30.4	Wiederverwertung der Pyrimidine	481
30.5	Abbau von Pyrimidinnucleotiden	481
	Weiterführende Literatur.....	482
31	Pathobiochemie des Purin- und Pyrimidinstoffwechsels	485
	<i>Monika Löffler</i>	
31.1	Transport und Wirkung von Hemmstoffen der Purin- und Pyrimidinbiosynthese	485
31.2	Störungen im Purinstoffwechsel.....	487
31.3	Störungen im Pyrimidinstoffwechsel.....	491
	Weiterführende Literatur.....	493

32	Porphyrine – Synthese und Abbau	495
	<i>Matthias Müller, Hubert E. Blum und Petro E. Petrides</i>	
32.1	Die Bildung von Häm	495
32.2	Abbau und Ausscheidung von Häm	501
32.3	Pathobiochemie des Porphyrinstoffwechsels	505
	Weiterführende Literatur.....	510
III	Zelluläre Kommunikation	
33	Prinzipien zellulärer Kommunikation	513
	<i>Gerhard Müller-Newen, Peter C. Heinrich, Heike M. Hermanns und Fred Schaper</i>	
33.1	Kommunikation zwischen Zellen	513
33.2	Extrazelluläre Mediatoren	514
33.3	Rezeptoren als zentrale Signalvermittler.....	517
33.4	Prinzipien der intrazellulären Signaltransduktion	520
	Weiterführende Literatur.....	526
34	Mediatoren	527
	<i>Peter C. Heinrich, Serge Haan, Heike M. Hermanns, Gerhard Müller-Newen und Fred Schaper</i>	
34.1	Klassische Hormone	527
34.2	Cytokine.....	527
	Weiterführende Literatur.....	532
35	Rezeptoren und ihre Signaltransduktion	533
	<i>Peter C. Heinrich, Serge Haan, Heike M. Hermanns, Gerhard Müller-Newen und Fred Schaper</i>	
35.1	Nucleäre Rezeptoren.....	534
35.2	Aktivierung membranständiger Rezeptoren	535
35.3	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	536
35.4	Rezeptoren mit intrinsischer Kinase (Rezeptorkinasen).....	545
35.5	Rezeptoren mit assoziierten Kinasen	552
35.6	Spezielle Aktivierungsmechanismen	564
35.7	Regulation der Rezeptor-Inaktivierung.....	567
	Weiterführende Literatur.....	570
36	Insulin – das wichtigste anabole Hormon	573
	<i>Harald Staiger, Norbert Stefan, Monika Kellerer und Hans-Ulrich Häring</i>	
36.1	Aufbau.....	573
36.2	Synthese in den β -Zellen des Pankreas	575
36.3	Sekretionsmechanismus.....	577
36.4	Konzentration und Halbwertszeit im Serum	579
36.5	Wirkspektrum des Insulins.....	579
36.6	Signaltransduktion	581
36.7	Pathobiochemie: Diabetes mellitus.....	584
	Weiterführende Literatur.....	593
37	Glucagon und Katecholamine – Gegenspieler des Insulins	595
	<i>Harald Staiger, Norbert Stefan, Monika Kellerer und Hans-Ulrich Häring</i>	
37.1	Glucagon	595
37.2	Katecholamine	599
	Weiterführende Literatur.....	604

51	Der programmierte Zelltod – Apoptose, Nekroptose, Ferroptose und Pyroptose	825
	<i>Peter C. Heinrich, Harald Wajant, Hans-Georg Koch und Jan Brix</i>	
51.1	Die Apoptose	826
51.2	Effektorcaspasen	831
51.3	Kontrolle der Apoptose	831
51.4	Der extrinsische Apoptoseweg und die Nekroptose bilden ein funktionelles Netzwerk	831
51.5	Pyroptose und Ferroptose	832
	Weiterführende Literatur	833
52	Prinzipien der zellulären Tumorgenese und -progression	835
	<i>Katharina Gorges, Lutz Graeve und Petro E. Petrides</i>	
52.1	Charakteristika von Tumoren	835
52.2	Tumorentstehung als Mehrstufenprozess	836
52.3	Ursachen für die Entstehung von Krebs	836
52.4	Entstehung von Onkogenen aus Proto-Onkogenen	838
52.5	Tumorsuppressorgene	840
52.6	Mehrstufige Krebsentstehung – Kolorektale Tumore als Modell	842
52.7	Erworbene phänotypische Charakteristika von Tumorzellen	843
52.8	Anwendung biochemischer Kenntnisse in der Krebsmedizin	847
	Weiterführende Literatur	849
53	Das Tumorstroma	851
	<i>Katharina Gorges, Lutz Graeve und Petro E. Petrides</i>	
53.1	Die Entstehung des Tumorstromas	851
53.2	Die metastatische Nische	852
53.3	Anwendung biochemischer Kenntnisse in der Krebsmedizin	858
	Weiterführende Literatur	860
54	Gentechnik	861
	<i>Jan Brix, Peter C. Heinrich und Hans-Georg Koch</i>	
54.1	Grundlagen der Gentechnik	861
54.2	Vektoren zum Einschleusen fremder DNA in Wirtszellen	873
54.3	DNA-Bibliotheken (DNA-Banken)	877
54.4	Gentechnik in den Grundlagenwissenschaften	879
54.5	Gentechnisch produzierte Medikamente (<i>Biologicals</i>)	881
	Weiterführende Literatur	884
55	Gentechnik in höheren Organismen – Transgene Tiere und Gentherapie	887
	<i>Jan Brix, Peter C. Heinrich und Hans-Georg Koch</i>	
55.1	Transgene Tiere als Modellorganismen	887
55.2	<i>knockout</i> -Mäusen	889
55.3	Genregulation durch RNA-Interferenz: <i>knockdown</i>	891
55.4	CRISPR/Cas: <i>Genome Editing</i> durch basengenaues Schneiden von DNA	891
55.5	Gentherapie	893
	Weiterführende Literatur	895

V Funktionelle Biochemie der Organe

56	Energiebilanz und Ernährungszustand	899
	<i>Uwe Wenzel und Hannelore Daniel</i>	
56.1	Energiebilanz	899
56.2	Ernährungsstatus	905
56.3	Positive und negative Energiebilanz	905
	Weiterführende Literatur.....	909
57	Makronährstoffe und ihre Bedeutung	911
	<i>Uwe Wenzel und Hannelore Daniel</i>	
57.1	Die Stoffwechselbedeutung von Proteinen, Kohlenhydraten und Lipiden	911
57.2	Besondere Ernährungserfordernisse	921
	Weiterführende Literatur.....	924
58	Fettlösliche Vitamine	925
	<i>Regina Brigelius-Flohé und Anna Patricia Kipp</i>	
58.1	Allgemeine Grundlagen	925
58.2	Vitamin A – Retinol und seine Derivate	927
58.3	Vitamin D – Calciferole	932
58.4	Vitamin E – Tocopherole und Tocotrienole	935
58.5	Vitamin K	941
	Weiterführende Literatur.....	943
59	Wasserlösliche Vitamine	945
	<i>Regina Brigelius-Flohé und Anna Patricia Kipp</i>	
59.1	Vitamin C – Ascorbinsäure	945
59.2	Vitamin B₁ – Thiamin	947
59.3	Vitamin B₂ – Riboflavin	949
59.4	Niacin	951
59.5	Vitamin B₆ – Pyridoxin	953
59.6	Pantothensäure	954
59.7	Biotin	956
59.8	Folsäure	957
59.9	Vitamin B₁₂ – Cobalamin	960
59.10	Biochemischer Nachweis von Mangelzuständen wasserlöslicher Vitamine	962
	Weiterführende Literatur.....	962
60	Spurenelemente	963
	<i>Martina U. Muckenthaler und Petro E. Petrides</i>	
60.1	Allgemeine Grundlagen	963
60.2	Die einzelnen Spurenelemente	966
	Weiterführende Literatur.....	989
61	Gastrointestinaltrakt	991
	<i>Peter C. Heinrich, Raika M. Sieger und Georg Löffler</i>	
61.1	Verdauungssekrete	991
61.2	Regulation gastrointestinaler Sekretion und Pathobiochemie	1000
61.3	Verdauung und Resorption	1006
61.4	Intestinales Immunsystem	1017
61.5	Mikrobiom des Darms	1018
	Weiterführende Literatur.....	1026

62	Leber – Zentrales Stoffwechselorgan	1027
	<i>Dieter Häussinger und Georg Löffler</i>	
62.1	Der Aufbau der Leber	1027
62.2	Stoffwechselleistungen der Hepatocyten	1030
62.3	Biotransformation – Metabolisierung von Endo- und Xenobiotica	1034
62.4	Gallesekretion	1038
62.5	Charakteristika von Sinusendothelien, Kupffer- und Sternzellen	1042
62.6	Pathobiochemie	1042
	Weiterführende Literatur.....	1047
63	Quergestreifte Muskulatur	1049
	<i>Dieter O. Fürst und Rolf Schröder</i>	
63.1	Funktioneller Aufbau der Skelettmuskulatur	1049
63.2	Molekularer Aufbau und Funktion der Skelettmuskulatur	1050
63.3	Stoffwechsel der Muskulatur	1059
63.4	Besonderheiten der Herzmuskulatur	1063
63.5	Pathobiochemie angeborener und erworbener Muskelerkrankungen	1065
	Weiterführende Literatur.....	1069
64	Die glatte Muskulatur	1071
	<i>Gabriele Pfitzer</i>	
64.1	Aufgaben der glatten Muskulatur und funktionelle Einteilungsprinzipien	1071
64.2	Struktur der glatten Muskulatur und Proteine des kontraktile Apparats	1072
64.3	Molekulare Grundlagen der Kontraktion	1074
64.4	Regulation der Kontraktion	1079
64.5	Relaxation der glatten Muskulatur	1083
64.6	Plastizität der glatten Muskulatur	1084
64.7	Die glatte Muskulatur ist an vielen Erkrankungen der inneren Organe beteiligt	1084
	Weiterführende Literatur.....	1086
65	Niere – Ausscheidung von Wasser und Elektrolyten	1087
	<i>Armin Kurtz</i>	
65.1	Funktionen und Aufbau der Nieren	1087
65.2	Energiestoffwechsel in der Niere	1091
65.3	Endokrine Aktivitäten der Niere	1091
65.4	Natriumhaushalt und renale Natriumreabsorption	1093
65.5	Wasserhaushalt und renale Wasserreabsorption	1101
65.6	Kaliumhaushalt und renale Kaliumausscheidung	1106
65.7	Renale Reabsorption von Monosacchariden, Peptiden und Aminosäuren	1108
65.8	Harnpflichtige Substanzen	1109
65.9	Pathobiochemie des Wasser- und Elektrolythaushalts	1109
	Weiterführende Literatur.....	1112
66	Der Säure-Basen- und Mineralhaushalt	1113
	<i>Armin Kurtz</i>	
66.1	Der Säure-Basen-Haushalt	1113
66.2	Calcium- und Phosphathaushalt	1119
66.3	Pathobiochemie des Säure-Basen- und Mineralhaushalts	1127
	Weiterführende Literatur.....	1131

67	Blut – Bestandteile und Blutplasma	1133
	<i>Gerhard Müller-Newen und Petro E. Petrides</i>	
67.1	Bestandteile des Blutes	1133
67.2	Elektrolyte und niedermolekulare Bestandteile des Blutplasmas	1134
67.3	Plasmaproteine	1135
67.4	Pathobiochemie	1139
	Weiterführende Literatur	1140
68	Blut – Hämatopoese und Erythrocyten	1141
	<i>Gerhard Müller-Newen und Petro E. Petrides</i>	
68.1	Hämatopoese	1141
68.2	Erythrocyten	1143
68.3	Pathobiochemie	1155
	Weiterführende Literatur	1156
69	Blut – Thrombocyten und Leukocyten	1159
	<i>Gerhard Müller-Newen und Petro E. Petrides</i>	
69.1	Thrombocyten – Blutgerinnung und Fibrinolyse	1159
69.2	Leukocyten	1171
	Weiterführende Literatur	1177
70	Immunologie	1179
	<i>Siegfried Ansorge und Michael Träger</i>	
70.1	Rolle des Immunsystems	1180
70.2	Unspezifische, angeborene Immunantwort	1181
70.3	Das spezifische, adaptive Immunsystem	1186
70.4	Instrumente und Mechanismen der Antigenerkennung	1187
70.5	Prozessierung und Präsentation von Protein-Antigenen	1189
70.6	Zellen der spezifischen Immunantwort	1191
70.7	Mechanismen der T-Zell-Aktivierung	1194
70.8	B-Lymphocyten	1201
70.9	Antikörper	1205
70.10	Zirkulation von Lymphocyten	1213
70.11	Interaktionen der unspezifischen, angeborenen und spezifischen, adaptiven Immunantwort	1214
70.12	Immunabwehr von Mikroorganismen	1216
70.13	Pathobiochemie	1218
	Weiterführende Literatur	1222
71	Extrazelluläre Matrix – Struktur und Funktion	1223
	<i>Rupert Hallmann, Peter Bruckner, Rainer Deutzmann und Lydia Sorokin</i>	
71.1	Aufbau der extrazellulären Matrix (EZM)	1223
71.2	Proteolytische Aktivierung und Abbau der extrazellulären Matrix	1245
71.3	Pathobiochemie: Angeborene Erkrankungen des Kollagen- und des Laminin-Stoffwechsels	1247
	Weiterführende Literatur	1248
72	Knorpel- und Knochengewebe	1249
	<i>Peter C. Heinrich, Hans-Hartmut Peter und Peter Bruckner</i>	
72.1	Aufbau und Biosynthese von Knorpel und Knochen	1250
72.2	Regulation der Chondrogenese und Osteogenese durch Hormone	1253
72.3	Osteoklasten – Abbau und Umbau von Knochen	1254

72.4	Knochenwachstum bis zur Pubertät	1255
72.5	Homöostase von Knochengewebe	1255
72.6	Knochenumbau durch Cytokine und Steroidhormone	1256
72.7	Pathobiochemie: Knochenerkrankungen	1257
	Weiterführende Literatur.....	1267
73	Haut	1269
	<i>Cristina Has, Sabine Müller, Philipp R. Esser und Stefan F. Martin</i>	
73.1	Aufbau und Funktionen der Haut	1269
73.2	Epidermis	1270
73.3	Dermis	1273
73.4	Pathobiochemie der Haut	1273
73.5	Immunologie der Haut	1276
	Weiterführende Literatur.....	1278
74	Nervensystem	1279
	<i>Petra May, Cord-Michael Becker und Hans H. Bock</i>	
74.1	Neurone, Erregungsleitung und -übertragung	1279
74.2	Glia	1299
74.3	Blutgefäße und Liquor	1301
74.4	Stoffwechsel des Gehirns	1304
74.5	Neurodegenerative Erkrankungen	1306
	Weiterführende Literatur.....	1310
	Serviceteil	
	Wichtige Tabellen und Formeln.....	1314
	Abkürzungsverzeichnis.....	1317
	Stichwortverzeichnis.....	1325