

Peter C. Heinrich, Matthias Müller, Lutz Graeve (Hrsg.)

Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie

9., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 1080 farbigen Abbildungen

Inhaltsverzeichnis

I	Grundlagen der Biochemie und der Molekularen Zellbiologie	1
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	6
1.3	Autoprotolyse von Wasser, pH-Wert	7
1.4	Säuren und Basen	8
1.5	Puffersysteme	10
2	Vom Molekül zum Organismus	14
	<i>Hartmut Follmann †</i>	
2.1	Die chemischen Elemente lebender Organismen	14
2.2	Charakteristische Eigenschaften organischer Biomoleküle	17
2.3	Von chemischer Materie zu biologischer Vielfalt	23
3	Kohlenhydrate, Lipide, Aminosäuren und Nucleotide – Bausteine des Lebens	26
	<i>Georg Löffler, Matthias Müller</i>	
3.1	Kohlenhydrate	26
3.2	Lipide	32
3.3	Aminosäuren	39
3.4	Nucleotide	42
	Tafelteil	47
4	Bioenergetik	54
	<i>Thomas Kriegel, Wolfgang Schellenberger</i>	
4.1	Thermodynamische Grundlagen	54
4.2	Energietransformation und energetische Kopplung	57
4.3	Verbindungen mit hohem Gruppenübertragungspotenzial	58
5	Proteine – Struktur und Funktion	61
	<i>Hans R. Kalbitzer</i>	
5.1	Aufbau von Proteinen	61
5.2	Konformation von Proteinen	62
5.3	Hämoglobin und Myoglobin: Ein wichtiges Beispiel für die Konformationsabhängigkeit funktioneller Eigenschaften	75
5.4	Physiologische und pathologische Faltungsprozesse bei Proteinen	80
5.5	Proteinevolution	84
6	Proteine – Analytische Untersuchungsmethoden, Synthese und Isolierung	86
	<i>Hans R. Kalbitzer</i>	
6.1	Isolation und Reinigung von Proteinen	86
6.2	Charakterisierung von Proteinen	90
6.3	Nachweisverfahren und Identifizierung von Proteinen	92
6.4	Methoden zur Aufklärung der dreidimensionalen Struktur von Proteinen	95
6.5	Proteombestimmung (Proteomik)	98
6.6	Synthese von Peptiden und Proteinen	99
7	Enzyme – Grundkonzepte der Biokatalyse	101
	<i>Thomas Kriegel, Wolfgang Schellenberger</i>	
7.1	Struktur und Funktion der Biokatalysatoren	101
7.2	Nomenklatur und Klassifizierung der Enzyme	105

7.3	Multiple Formen von Enzymen	106
7.4	Ribozyme	107
7.5	Mechanismen der Enzymkatalyse	107
7.6	Definition, Maßeinheiten und Bestimmung der Enzymaktivität	108
7.7	Michaelis-Menten-Gleichung	111
8	Regulation der Enzymaktivität	115
	<i>Thomas Kriegel, Wolfgang Schellenberger</i>	
8.1	Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Enzymaktivität	115
8.2	Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Enzym- und Substratkonzentration	116
8.3	Regulation der Enzymaktivität durch Hemmstoffe	116
8.4	Kooperativität und allosterische Kontrolle der Enzymaktivität	119
8.5	Regulation der Enzymaktivität durch covalente Modifikation	122
8.6	Regulation der Enzymaktivität durch Protein-Protein-Interaktion	124
9	Enzyme in Forschung, Diagnostik und Therapie	125
	<i>Thomas Kriegel, Wolfgang Schellenberger</i>	
9.1	Anwendung von Enzymen in der Medizin	125
9.2	Bestimmung von Enzymen in biologischen Flüssigkeiten (Enzymdiagnostik)	126
9.3	Enzyme als Zielstrukturen von Pharmaka	129
10	Nucleinsäuren – Struktur und Funktion	130
	<i>Hans-Georg Koch, Jan Brix, Peter C. Heinrich</i>	
10.1	Struktur und Funktion von DNA und RNA	130
10.2	Die DNA-Struktur	131
10.3	DNA als Trägerin der Erbinformation	141
10.4	Funktion und Struktur der RNA	146
11	Biomembranen	149
	<i>Lutz Graeve, Matthias Müller</i>	
11.1	Aufbau und Eigenschaften von Biomembranen	149
11.2	Membranfluidität	149
11.3	Lipid rafts oder membrane rafts	150
11.4	Membranproteine	152
11.5	Transport durch Membranen	153
11.6	Biosynthese von Membranen	155
12	Zellorganellen und Vesikeltransport	157
	<i>Lutz Graeve, Matthias Müller</i>	
12.1	Die Zellkompartimente	157
12.2	Vesikulärer Transport	166
12.3	Proteinsortierung	169
13	Cytoskelett	174
	<i>Lutz Graeve, Matthias Müller</i>	
13.1	Mikro- oder Actinfilamente	174
13.2	Mikrotubuli	177
13.3	Intermediärfilamente	178
13.4	Motorproteine	179

II	Zellulärer Metabolismus	181
14	Glucose – Schlüsselmolekül des Kohlenhydratstoffwechsels	183
	<i>Georg Löffler, Matthias Müller</i>	
14.1	Katabole Verwertung von Glucose und Fructose	183
14.2	Bildung und Verwertung der Glycogenspeicher	192
14.3	Die Gluconeogenese – endogene Glucoseproduktion	195
15	Mechanismen der Glucosehomöostase	199
	<i>Georg Löffler, Matthias Müller</i>	
15.1	Glucosetransport durch Membranen	199
15.2	Regulierte Leerung und Füllung der Glycogenspeicher	203
15.3	Steuerung von Glucoseabbau und Glucoseproduktion	208
16	Zucker – Bausteine von Glykoproteinen und Heteroglycanen	214
	<i>Georg Löffler</i>	
16.1	Glucose als Substrat für die Biosynthese anderer Zucker, Aminosucker und Zuckersäuren	214
16.2	Die Saccharide von Proteoglycanen, Hyaluronsäure und Peptidoglycan	218
17	Pathobiochemie des Kohlenhydratstoffwechsels	222
	<i>Georg Löffler</i>	
17.1	Erworbene Defekte des Kohlenhydratstoffwechsels	222
17.2	Hereditäre Defekte des Kohlenhydratstoffwechsels	224
18	Der Citratzyklus – Abbau von Acetyl-CoA zu CO₂ und H₂O	226
	<i>Ulrich Brandt</i>	
18.1	Stoffwechselbedeutung des Citratzyklus	226
18.2	Einzelreaktionen des Citratzyklus	228
18.3	Regulierte Schritte im Citratzyklus	231
18.4	Anabole Reaktionen im Citratzyklus	232
18.5	Pathobiochemie	234
19	Mitochondrien – Organellen der ATP-Gewinnung	235
	<i>Ulrich Brandt</i>	
19.1	Die mitochondriale Energietransformation	235
19.2	Pathobiochemie der Mitochondrien	249
20	Oxidoreduktasen und oxidativer Stress	252
	<i>Ulrich Brandt</i>	
20.1	Katalyse von Redoxreaktionen durch Oxidoreduktasen	252
20.2	Oxidativer Stress	254
21	Lipogenese und Lipolyse – Bildung und Verwertung der Fettspeicher	257
	<i>Georg Löffler</i>	
21.1	Aufbau und Abbau von Triacylglycerinen	257
21.2	Abbau und Aufbau von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren	263
21.3	Regulation von Lipogenese und Lipolyse	275
22	Stoffwechsel von Phosphoglyceriden und Sphingolipiden	279
	<i>Georg Löffler</i>	
22.1	Synthese und Abbau von Phosphoglyceriden	279
22.2	Synthese und Abbau von Sphingolipiden	284
22.3	Funktionelle Metabolite von Membranlipiden	286

23	Stoffwechsel von Cholesterin	292
	<i>Georg Löffler</i>	
23.1	Cholesterin – Membranlipid und Ausgangssubstanz von Steroidhormonen und Gallensäuren	292
23.2	Synthese von Isoprenlipiden	293
23.3	Cholesterinhomöostase	296
24	Lipoproteine – Transportformen der Lipide im Blut	300
	<i>Georg Löffler</i>	
24.1	Zusammensetzung der Lipoproteine	300
24.2	Funktion und Umsatz einzelner Lipoproteine	302
25	Pathobiochemie des Lipidstoffwechsels	307
	<i>Georg Löffler</i>	
25.1	Störungen des Fettsäurestoffwechsels	307
25.2	Störungen und pharmakologische Beeinflussung des Eicosanoidstoffwechsels	308
25.3	Störungen des Stoffwechsels von Phosphoglyceriden und Sphingolipiden	309
25.4	Störungen des Lipoproteinstoffwechsels	310
26	Prinzipien von Aminosäurestoffwechsel und Stickstoffumsatz	313
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
26.1	Beziehung zwischen Stickstoff, Ammoniak und Aminosäurestoffwechsel	313
26.2	Stickstoffumsatz im menschlichen Organismus	315
26.3	Enzymatische Mechanismen des Aminosäurestoffwechsels	317
26.4	Prinzipien des Aminosäureabbaus beim Menschen	322
27	Funktioneller Aminosäurestoffwechsel	325
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
27.1	Organspezifische Aspekte	325
27.2	Stoffwechsel einzelner Aminosäuren	332
28	Pathobiochemie des Aminosäurestoffwechsels	352
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
28.1	Neurotoxizität von Ammoniak	352
28.2	Angeborene Störungen im Aminosäurestoffwechsel	352
28.3	Aminosäurestoffwechsel in Therapie und Diagnostik	355
29	Purinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau	357
	<i>Monika Löffler</i>	
29.1	Biosynthese von Purinnucleotiden	357
29.2	Regulation der Biosynthese von Purinnucleotiden	360
29.3	Wiederverwertung von Purinen	361
29.4	Abbau von Purinnucleotiden	362
30	Pyrimidinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau	365
	<i>Monika Löffler</i>	
30.1	Biosynthese von Pyrimidinnucleotiden	365
30.2	Biosynthese von Desoxyribonucleotiden	366
30.3	Regulation der Biosynthese von Pyrimidinnucleotiden	368
30.4	Wiederverwertung der Pyrimidine	370
30.5	Abbau von Pyrimidinnucleotiden	371
31	Pathobiochemie des Purin- und Pyrimidinstoffwechsels	372
	<i>Monika Löffler</i>	
31.1	Transport und Wirkung von Hemmstoffen der Purin- und Pyrimidinbiosynthese	372
31.2	Störungen im Purinstoffwechsel	374
31.3	Störungen im Pyrimidinstoffwechsel	376

32	Porphyrine – Synthese und Abbau	379
	<i>Matthias Müller, Hubert E. Blum, Petro E. Petrides</i>	
32.1	Die Bildung von Häm	379
32.2	Abbau und Ausscheidung von Häm	384
32.3	Pathobiochemie des Porphyrinstoffwechsels	387
III	Zelluläre Kommunikation	393
33	Prinzipien zellulärer Kommunikation	395
	<i>Gerhard Müller-Newen, Peter C. Heinrich, Heike M. Hermanns, Fred Schaper</i>	
33.1	Kommunikation zwischen Zellen	395
33.2	Extrazelluläre Mediatoren	396
33.3	Rezeptoren als zentrale Signalvermittler	398
33.4	Prinzipien der intrazellulären Signaltransduktion	401
34	Mediatoren	407
	<i>Peter C. Heinrich, Serge Haan, Heike M. Hermanns, Gerhard Müller-Newen, Fred Schaper</i>	
34.1	Hormone	407
34.2	Cytokine	408
35	Rezeptoren und ihre Signaltransduktion	411
	<i>Peter C. Heinrich, Serge Haan, Heike M. Hermanns, Gerhard Müller-Newen, Fred Schaper</i>	
35.1	Nucleäre Rezeptoren	411
35.2	Aktivierung membranständiger Rezeptoren	412
35.3	G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	413
35.4	Rezeptoren mit intrinsischer Kinase (Rezeptorkinasen)	420
35.5	Rezeptoren mit assoziierten Kinasen	426
35.6	Spezielle Aktivierungsmechanismen	436
35.7	Regulation der Rezeptoraktivierung und -inaktivierung	439
36	Insulin – das wichtigste anabole Hormon	442
	<i>Harald Staiger, Norbert Stefan, Monika Kellerer, Hans-Ulrich Häring</i>	
36.1	Aufbau	442
36.2	Synthese in den β -Zellen des Pankreas	443
36.3	Sekretionsmechanismus	445
36.4	Konzentration und Halbwertszeit im Serum	447
36.5	Wirkspektrum	447
36.6	Signaltransduktion	449
36.7	Pathobiochemie: Diabetes mellitus	451
37	Glucagon und Katecholamine – Gegenspieler des Insulins	458
	<i>Harald Staiger, Norbert Stefan, Monika Kellerer, Hans-Ulrich Häring</i>	
37.1	Glucagon	458
37.2	Katecholamine	461
38	Integration und hormonelle Regulation des Energiestoffwechsels	466
	<i>Georg Löffler</i>	
38.1	Stoffwechsel während des Hungerns	466
38.2	Stoffwechsel bei Nahrungszufuhr	473
38.3	Steuerung der Nahrungsaufnahme über Appetit und Sättigungsgefühl	479
39	Hormone des Hypothalamus und der Hypophyse	483
	<i>Josef Köhrle, Lutz Schomburg, Ulrich Schweizer</i>	
39.1	Hypothalamus	483
39.2	Hypophyse	489
39.3	Pathobiochemie	494

40	Steroidhormone – Produkte von Nebennierenrinde und Keimdrüsen	495
	<i>Ulrich Schweizer, Lutz Schomburg, Josef Köhrle</i>	
40.1	Gemeinsame Schritte bei der Biosynthese von Cortico- und Sexualsteroiden	495
40.2	Das Nebennierenrindenhormon Cortisol	497
40.3	Die Gonadotropine	502
40.4	Männliche Sexualsteroid	503
40.5	Weibliche Sexualsteroid	506
41	Schilddrüsenhormone – Zentrale Regulatoren von Entwicklung, Wachstum, Grundumsatz, Stoffwechsel und Zelldifferenzierung	512
	<i>Josef Köhrle, Ulrich Schweizer, Lutz Schomburg</i>	
41.1	Regulation der Hormonproduktion der Schilddrüse durch das hypothalamisch-hypophysäre System	512
41.2	Biosynthese der Schilddrüsenhormone	516
41.3	Zelluläre Effekte und Wirkungsmechanismen der Schilddrüsenhormone	521
41.4	Pathobiochemie	524
42	Wachstumshormon und Prolactin	528
	<i>Lutz Schomburg, Ulrich Schweizer, Josef Köhrle</i>	
42.1	Wachstumshormon (GH)	528
42.2	Prolactin	531
42.3	Pathobiochemie	532
IV	Molekularbiologie	533
43	Zellzyklus – Koordination der Zellteilung	535
	<i>Peter C. Heinrich, Hans-Georg Koch, Jan Brix</i>	
43.1	Chronologie des Zellzyklus	535
43.2	Kontrolle des Zellzyklus	536
43.3	Kontrolle der cyclinabhängigen Kinasen	537
43.4	Wachstumsfaktoren und Zellzyklus	543
44	Replikation – Die Verdopplung der DNA	545
	<i>Hans-Georg Koch, Jan Brix, Peter C. Heinrich</i>	
44.1	Die DNA-Replikation ist semikonservativ	545
44.2	Das Replikonmodell	546
44.3	Initiation – Start der Replikation	547
44.4	Elongation – Neusynthese der DNA	549
44.5	Termination – Beendigung der Replikation	555
44.6	Pathobiochemie	556
45	DNA-Mutationen und ihre Reparatur	559
	<i>Hans-Georg Koch, Jan Brix, Peter C. Heinrich</i>	
45.1	Mutationen – Veränderungen der DNA	559
45.2	DNA-Reparatur	562
46	Transkription und Prozessierung der RNA	567
	<i>Jan Brix, Hans-Georg Koch, Peter C. Heinrich</i>	
46.1	Grundlegender Mechanismus der Transkription	567
46.2	Transkription bei Prokaryonten	569
46.3	Transkription bei Eukaryonten	572
47	Regulation der Transkription – Aktivierung und Inaktivierung der Genexpression	588
	<i>Jan Brix, Hans-Georg Koch, Peter C. Heinrich</i>	
47.1	Kontrolle der Transkription bei Prokaryonten	588
47.2	Regulation der Transkription bei Eukaryonten	588

48	Translation – Synthese von Proteinen	600
	<i>Matthias Müller, Lutz Graeve</i>	
48.1	Der genetische Code und seine molekularen Übersetzer	600
48.2	Translationsmechanismus	606
48.3	Modifikation der Translationsaktivität	611
49	Proteine – Transport, Modifikation und Faltung	615
	<i>Matthias Müller, Lutz Graeve</i>	
49.1	Proteinfaltung	615
49.2	Transmembraner Proteintransport	618
49.3	Covalente Modifikation von Proteinen	623
50	Proteine – Mechanismen ihres Abbaus	629
	<i>Matthias Müller, Lutz Graeve</i>	
50.1	Proteasen	629
50.2	Markierung für den Abbau	629
50.3	Abbau durch das Proteasom	630
50.4	Lysosomale Proteolyse	631
50.5	Intramembrane Proteolyse	631
51	Apoptose – Der programmierte Zelltod	633
	<i>Peter C. Heinrich, Hans-Georg Koch, Jan Brix</i>	
51.1	Auslöser der Apoptose	633
51.2	Effektorcaspasen	637
51.3	Kontrolle der Apoptose	637
52	Grundlagen der Tumorentstehung	638
	<i>Burkhard Brandt, Petro E. Petrides</i>	
52.1	Krebsepidemiologie	638
52.2	Molekulare Parameter der Malignität von Tumorzellen	639
52.3	Das Genom der Tumorzelle	640
52.4	Transkriptom der Tumorzelle	642
52.5	Funktion des Tumorphroteoms	643
53	Spezifische Tumore – Entstehung, Progression und Therapie	649
	<i>Burkhard Brandt, Petro E. Petrides</i>	
53.1	Funktion von Onkogenen und Tumorsuppressorgenen bei den häufigsten Karzinomen	649
53.2	Bedeutung von Mutationen in Mutator- und Tumorsuppressorgenen für die genetische Prädisposition der häufigsten Karzinome	652
53.3	Viren als Auslöser von malignen Tumoren	655
53.4	Die Tumorprogression: Molekulare Mechanismen der Metastasenbildung	655
53.5	Effektive Therapien solider Tumoren	658
54	Gentechnik	660
	<i>Jan Brix, Peter C. Heinrich, Hans-Georg Koch, Georg Löffler</i>	
54.1	Grundlagen der Gentechnik	660
54.2	Vektoren zum Einschleusen fremder DNA in Wirtszellen	669
54.3	DNA-Bibliotheken (DNA-Banken)	673
54.4	Gentechnik in den Grundlagenwissenschaften	674
54.5	Gentechnisch produzierte Medikamente (<i>Biologicals</i>)	676
55	Gentechnik in höheren Organismen – Transgene Tiere und Gentherapie	679
	<i>Jan Brix, Peter C. Heinrich, Hans-Georg Koch, Georg Löffler</i>	
55.1	Transgene Tiere als Modellorganismen	679
55.2	Knockout-Mäuse	679
55.3	Genregulation durch RNA-Interferenz: <i>Knockdown</i>	681
55.4	Gentherapie	683

V	Funktionelle Biochemie der Organe	685
56	Energiebilanz und Ernährungszustand	687
	<i>Hannelore Daniel, Uwe Wenzel</i>	
56.1	Die Energiebilanz	687
56.2	Der Ernährungsstatus	692
56.3	Positive und negative Energiebilanz	693
57	Makronährstoffe und ihre Bedeutung	696
	<i>Hannelore Daniel, Uwe Wenzel</i>	
57.1	Die Stoffwechselbedeutung von Proteinen, Lipiden und Kohlenhydraten und ihre Beteiligung an der Homöostase	696
57.2	Besondere Ernährungserfordernisse	703
58	Fettlösliche Vitamine	706
	<i>Regina Brigelius-Flohé</i>	
58.1	Allgemeine Grundlagen	706
58.2	Vitamin A – Retinol und seine Derivate	708
58.3	Vitamin D – Calciferole	712
58.4	Vitamin E – Tocopherole und Tocotrienole	714
58.5	Vitamin K	717
59	Wasserlösliche Vitamine	720
	<i>Regina Brigelius-Flohé</i>	
59.1	Vitamin C – Ascorbinsäure	720
59.2	Vitamin B ₁ – Thiamin	723
59.3	Vitamin B ₂ – Riboflavin	724
59.4	Niacin und Niacinamid	724
59.5	Vitamin B ₆ – Pyridoxin	726
59.6	Pantothensäure	728
59.7	Biotin	729
59.8	Folsäure	730
59.9	Vitamin B ₁₂ – Cobalamin	732
59.10	Biochemischer Nachweis von Mangelzuständen wasserlöslicher Vitamine	734
60	Essentielle Spurenelemente	736
	<i>Regina Brigelius-Flohé, Petro E. Petrides</i>	
60.1	Definition, Einteilung und Bedarf	736
60.2	Chrom	736
60.3	Cobalt	736
60.4	Eisen	736
60.5	Fluor	740
60.6	Iod	740
60.7	Kupfer	740
60.8	Mangan	741
60.9	Molybdän	741
60.10	Selen	741
60.11	Zink	743
61	Gastrointestinaltrakt	745
	<i>Georg Löffler, Joachim Mössner</i>	
61.1	Verdauungssekrete	745
61.2	Regulation gastrointestinaler Sekretion und Pathobiochemie	753
61.3	Verdauung und Resorption	758
61.4	Intestinales Immunsystem	768

62	Leber – Zentrales Stoffwechselorgan	770
	<i>Dieter Häussinger, Georg Löffler</i>	
62.1	Der Aufbau der Leber	770
62.2	Stoffwechselleistungen der Hepatocyten	772
62.3	Biotransformation – Metabolisierung von Endo- und Xenobiotica	776
62.4	Gallesekretion	779
62.5	Charakteristika von Sinusendothelien, Kupffer- und Sternzellen	783
62.6	Pathobiochemie	783
63	Quergestreifte Muskulatur	787
	<i>Dieter O. Fürst, Rolf Schröder</i>	
63.1	Funktioneller Aufbau der Skelettmuskulatur	787
63.2	Molekularer Aufbau und Funktion der Skelettmuskulatur	788
63.3	Stoffwechsel der Muskulatur	796
63.4	Besonderheiten der Herzmuskulatur	799
63.5	Pathobiochemie angeborener und erworbener Muskelerkrankungen	801
64	Die glatte Muskulatur	805
	<i>Gabriele Pfitzer</i>	
64.1	Aufgaben der glatten Muskulatur und funktionelle Einteilungsprinzipien	805
64.2	Struktur der glatten Muskulatur und Proteine des kontraktile Apparats	806
64.3	Molekulare Grundlagen der Kontraktion	807
64.4	Erregungs-Kontraktions-Kopplung	812
64.5	Relaxation der glatten Muskulatur	814
64.6	Plastizität der glatten Muskulatur	815
64.7	Die glatte Muskulatur ist an vielen Erkrankungen der inneren Organe beteiligt	815
65	Niere – Ausscheidung von Wasser und Elektrolyten	817
	<i>Armin Kurtz</i>	
65.1	Funktionen und Aufbau der Nieren	817
65.2	Energiestoffwechsel in der Niere	820
65.3	Endokrine Aktivitäten der Niere	821
65.4	Natriumhaushalt und renale Natriumreabsorption	822
65.5	Wasserhaushalt und renale Wasserreabsorption	829
65.6	Kaliumhaushalt und renale Kaliumausscheidung	834
65.7	Renale Reabsorption von Monosacchariden, Peptiden und Aminosäuren	835
65.8	Harnpflichtige Substanzen	836
65.9	Pathobiochemie des Wasser- und Elektrolythaushalts	836
66	Der Säure-Basen- und Mineralhaushalt	840
	<i>Armin Kurtz</i>	
66.1	Der Säure-Basen-Haushalt	840
66.2	Calcium- und Phosphathaushalt	846
66.3	Pathobiochemie des Säure-Basen- und Mineralhaushalts	853
67	Blut – Bestandteile und Blutplasma	857
	<i>Gerhard Müller-Newen, Petro E. Petrides</i>	
67.1	Bestandteile des Blutes	857
67.2	Elektrolyte und niedermolekulare Bestandteile des Blutplasmas	857
67.3	Plasmaproteine	858
67.4	Pathobiochemie	862
68	Blut – Hämatopoese und Erythrocyten	863
	<i>Gerhard Müller-Newen, Petro E. Petrides</i>	
68.1	Hämatopoese	863
68.2	Erythrocyten	865
68.3	Pathobiochemie	875

69	Blut – Thrombocyten und Leukocyten	877
	<i>Gerhard Müller-Newen, Petro E. Petrides</i>	
69.1	Thrombocyten – Blutgerinnung und Fibrinolyse	877
69.2	Leukocyten	887
70	Immunologie	893
	<i>Siegfried Ansorge, Michael Träger</i>	
70.1	Rolle des Immunsystems	893
70.2	Unspezifische, angeborene Immunantwort	894
70.3	Das spezifische, adaptive Immunsystem	899
70.4	Instrumente und Mechanismen der Antigenerkennung	900
70.5	Prozessierung und Präsentation von Protein-Antigenen	901
70.6	Zellen der spezifischen Immunantwort	903
70.7	Mechanismen der T-Zell-Aktivierung	906
70.8	B-Lymphocyten	911
70.9	Antikörper	914
70.10	Zirkulation von Lymphocyten	922
70.11	Interaktionen der unspezifischen, angeborenen und spezifischen, adaptiven Immunantwort	923
70.12	Immunabwehr von Mikroorganismen	925
70.13	Pathobiochemie	927
71	Extrazelluläre Matrix – Struktur und Funktion	931
	<i>Rainer Deutzmann, Peter Bruckner</i>	
71.1	Aufbau der extrazellulären Matrix (EZM)	931
71.2	Abbau der extrazellulären Matrix	949
71.3	Pathobiochemie: Angeborene Erkrankungen des Kollagenstoffwechsels	950
72	Knorpel- und Knochengewebe	952
	<i>Rainer Deutzmann, Peter Bruckner</i>	
72.1	Aufbau und Biosynthese von Knorpel und Knochen	952
72.2	Regulation der Chondro- und Osteogenese durch Hormone	955
72.3	Osteoklasten – Abbau und Umbau von Knochen	955
72.4	Knochenwachstum bis zur Pubertät	957
72.5	Homöostase von Knochengewebe	957
72.6	Knochenumbau durch Cytokine und Steroidhormone	957
72.7	Pathobiochemie: Knochenerkrankungen	958
73	Haut	961
	<i>Leena Bruckner-Tuderman, Peter Bruckner</i>	
73.1	Aufbau und Funktionen der Haut	961
73.2	Epidermis	961
73.3	Dermoepidermale Junctionszone	962
73.4	Dermis	963
73.5	Pathobiochemie der Haut	964
74	Nervensystem	968
	<i>Petra May, Cord-Michael Becker, Hans H. Bock</i>	
74.1	Neuronen, Erregungsleitung und -übertragung	968
74.2	Glia	984
74.3	Blutgefäße und Liquor	986
74.4	Stoffwechsel des Gehirns	988
74.5	Neurodegenerative Erkrankungen	990
	Anhang	995
	Abkürzungen	996
	Genetischer Code, Wichtige Gleichungen	998
	Stichwortverzeichnis	999