

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>I</b>	<b>Grundlagen der Biochemie und der Molekularen Zellbiologie</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Ohne Wasser kein Leben</b> . . . . .	<b>3</b>
	<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
<b>2</b>	<b>Vom Molekül zum Organismus</b> . . . . .	<b>14</b>
	<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
<b>3</b>	<b>Kohlenhydrate, Lipide, Aminosäuren und Nucleotide – Bausteine des Lebens</b> . . . . .	<b>26</b>
	<i>Georg Löffler, Matthias Müller</i>	
3.1	Kohlenhydrate . . . . .	26
3.2	Lipide . . . . .	32
3.3	Aminosäuren . . . . .	39
3.4	Nucleotide . . . . .	42
	<b>Tafelteil</b> . . . . .	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>Bioenergetik</b> . . . . .	<b>54</b>
	<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
<b>5</b>	<b>Proteine – Struktur und Funktion</b> . . . . .	<b>61</b>
	<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
<b>6</b>	<b>Proteine – Analytische Untersuchungsmethoden, Synthese und Isolierung</b> . . . . .	<b>86</b>
	<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
<b>7</b>	<b>Enzyme – Grundkonzepte der Biokatalyse</b> . . . . .	<b>101</b>
	<i>Thomas Kriegel, Wolfgang Schellenberger</i>	
7.1	Struktur und Funktion der Biokatalysatoren . . . . .	101
7.2	Nomenklatur und Klassifizierung der Enzyme . . . . .	105

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

<b>II</b>	<b>Zellulärer Metabolismus</b>	181
<b>14</b>	<b>Glucose – Schlüsselmolekül des Kohlenhydratstoffwechsels</b>	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
<b>15</b>	<b>Mechanismen der Glucosehomöostase</b>	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
<b>16</b>	<b>Zucker – Bausteine von Glykoproteinen und Heteroglycanen</b>	214
	<i>Georg Löffler</i>	
16.1	Glucose als Substrat für die Biosynthese anderer Zucker, Aminozucker und Zuckersäuren	214
16.2	Die Saccharide von Proteoglycanen, Hyaluronsäure und Peptidoglycan	218
<b>17</b>	<b>Pathobiochemie des Kohlenhydratstoffwechsels</b>	222
	<i>Georg Löffler</i>	
17.1	Erworbene Defekte des Kohlenhydratstoffwechsels	222
17.2	Hereditäre Defekte des Kohlenhydratstoffwechsels	224
<b>18</b>	<b>Der Citratzyklus – Abbau von Acetyl-CoA zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O</b>	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
<b>19</b>	<b>Mitochondrien – Organellen der ATP-Gewinnung</b>	235
	<i>Ulrich Brandt</i>	
19.1	Die mitochondriale Energietransformation	235
19.2	Pathobiochemie der Mitochondrien	249
<b>20</b>	<b>Oxidoreduktasen und oxidativer Stress</b>	252
	<i>Ulrich Brandt</i>	
20.1	Katalyse von Redoxreaktionen durch Oxidoreduktasen	252
20.2	Oxidativer Stress	254
<b>21</b>	<b>Lipogenese und Lipolyse – Bildung und Verwertung der Fettspeicher</b>	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
<b>22</b>	<b>Stoffwechsel von Phosphoglyceriden und Sphingolipiden</b>	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

<b>23</b>	<b>Stoffwechsel von Cholesterin</b> . . . . .	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
<b>24</b>	<b>Lipoproteine – Transportformen der Lipide im Blut</b> . . . . .	300
	<i>Georg Löffler</i>	
24.1	Zusammensetzung der Lipoproteine . . . . .	300
24.2	Funktion und Umsatz einzelner Lipoproteine . . . . .	302
<b>25</b>	<b>Pathobiochemie des Lipidstoffwechsels</b> . . . . .	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
<b>26</b>	<b>Prinzipien von Aminosäurestoffwechsel und Stickstoffumsatz</b> . . . . .	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
<b>27</b>	<b>Funktioneller Aminosäurestoffwechsel</b> . . . . .	325
	<i>Klaus-Heinrich Röhm</i>	
27.1	Organspezifische Aspekte . . . . .	325
27.2	Stoffwechsel einzelner Aminosäuren . . . . .	332
<b>28</b>	<b>Pathobiochemie des Aminosäurestoffwechsels</b> . . . . .	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
<b>29</b>	<b>Purinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau</b> . . . . .	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
<b>30</b>	<b>Pyrimidinnucleotide – Biosynthese, Wiederverwertung und Abbau</b> . . . . .	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
<b>31</b>	<b>Pathobiochemie des Purin- und Pyrimidinstoffwechsels</b> . . . . .	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

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

<b>40</b>	<b>Steroidhormone – Produkte von Nebennierenrinde und Keimdrüsen</b> . . . . .	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 Sexualsteroiden . . . . .	503
40.5	Weibliche Sexualsteroiden . . . . .	506
<b>41</b>	<b>Schilddrüsenhormone – Zentrale Regulatoren von Entwicklung, Wachstum, Grundumsatz, Stoffwechsel und Zelldifferenzierung</b> . . . . .	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
<b>42</b>	<b>Wachstumshormon und Prolactin</b> . . . . .	528
	<i>Lutz Schomburg, Ulrich Schweizer, Josef Köhrle</i>	
42.1	Wachstumshormon (GH) . . . . .	528
42.2	Prolactin . . . . .	531
42.3	Pathobiochemie . . . . .	532
<b>IV</b>	<b>Molekularbiologie</b> . . . . .	533
<b>43</b>	<b>Zellzyklus – Koordination der Zellteilung</b> . . . . .	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
<b>44</b>	<b>Replikation – Die Verdopplung der DNA</b> . . . . .	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
<b>45</b>	<b>DNA-Mutationen und ihre Reparatur</b> . . . . .	559
	<i>Hans-Georg Koch, Jan Brix, Peter C. Heinrich</i>	
45.1	Mutationen – Veränderungen der DNA . . . . .	559
45.2	DNA-Reparatur . . . . .	562
<b>46</b>	<b>Transkription und Prozessierung der RNA</b> . . . . .	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
<b>47</b>	<b>Regulation der Transkription – Aktivierung und Inaktivierung der Genexpression</b> . . . . .	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

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

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



<b>62</b>	<b>Leber – Zentrales Stoffwechselorgan</b> . . . . .	770
	<i>Dieter Häussinger, Georg Löffler</i>	
62.1	Der Aufbau der Leber . . . . .	770
62.2	Stoffwechseleleistungen 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
<b>63</b>	<b>Quergestreifte Muskulatur</b> . . . . .	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
<b>64</b>	<b>Die glatte Muskulatur</b> . . . . .	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
<b>65</b>	<b>Niere – Ausscheidung von Wasser und Elektrolyten</b> . . . . .	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
<b>66</b>	<b>Der Säure-Basen- und Mineralhaushalt</b> . . . . .	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
<b>67</b>	<b>Blut – Bestandteile und Blutplasma</b> . . . . .	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
<b>68</b>	<b>Blut – Hämatopoese und Erythrocyten</b> . . . . .	863
	<i>Gerhard Müller-Newen, Petro E. Petrides</i>	
68.1	Hämatopoese . . . . .	863
68.2	Erythrocyten . . . . .	865
68.3	Pathobiochemie . . . . .	875

<b>69</b>	<b>Blut – Thrombocyten und Leukocyten</b> . . . . .	877
	<i>Gerhard Müller-Newen, Petro E. Petrides</i>	
69.1	Thrombocyten – Blutgerinnung und Fibrinolyse . . . . .	877
69.2	Leukocyten . . . . .	887
<b>70</b>	<b>Immunologie</b> . . . . .	893
	<i>Siegfried Ansorge, Michael Täger</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
<b>71</b>	<b>Extrazelluläre Matrix – Struktur und Funktion</b> . . . . .	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
<b>72</b>	<b>Knorpel- und Knochengewebe</b> . . . . .	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
<b>73</b>	<b>Haut</b> . . . . .	961
	<i>Leena Bruckner-Tuderman, Peter Bruckner</i>	
73.1	Aufbau und Funktionen der Haut . . . . .	961
73.2	Epidermis . . . . .	961
73.3	Dermoepidermale Junktionszone . . . . .	962
73.4	Dermis . . . . .	963
73.5	Pathobiochemie der Haut . . . . .	964
<b>74</b>	<b>Nervensystem</b> . . . . .	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
	<b>Anhang</b> . . . . .	995
	Abkürzungen . . . . .	996
	Genetischer Code, Wichtige Gleichungen . . . . .	998
	Stichwortverzeichnis . . . . .	999