

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Energie und Leben I – Prinzipien und globale Energieflüsse . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Energie, von der Sonne gespendet, speist alles pflanzliche, tierische und menschliche Leben . . . . .	1
1.2	Arbeit kontra Wärme . . . . .	5
1.3	Entropie und Leben . . . . .	8
1.4	Die „freie Energie $G$ “ . . . . .	10
1.5	Lebewesen als offene Systeme mit der Fähigkeit zur Selbstorganisation. . . . .	14
1.6	Wirkungsgrade und ihre ökonomischen und ökologischen Konsequenzen . . . . .	18
1.7	Zur Vertiefung: Energetik (Thermodynamik) . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Leben und Energie II – Energieumsetzung in der Zelle und im Individuum . . . . .</b>	<b>27</b>
2.1	Grundlegende Prozesse des zentralen Energiestoffwechsels der eukaryotischen Zelle . . . . .	27
2.2	Start im Cytosol: die Glykolyse. . . . .	33
2.3	Citratzyklus, Atmungskette, beta-Oxidation und ATP-Großproduktion . . . . .	37
2.4	Die verschiedenen Energiespeicher und ihr besonderer Nutzen . . . . .	46
2.5	Energieverwertung I: ATP-getriebene Motoren . . . . .	50
2.6	Energieverwertung II: Transport von Substanzen durch Membranen. . . . .	53
2.7	Quantitative Energieumsätze im Individuum . . . . .	59
<b>3</b>	<b>Ernährung . . . . .</b>	<b>71</b>
3.1	Was die Nahrung enthalten muss . . . . .	71
3.2	Zur Vertiefung: „Gesunde Ernährung“ Erfahrung, Meinung und Glaube in den Ernährungswissenschaften . . . . .	76
3.3	Fettsäuren: essentielle, erwünschte, unerwünschte . . . . .	79
3.4	Wozu Vitamine notwendig sind . . . . .	80
3.5	Tierische kontra pflanzliche Kost: Was ist Wissenschaft, was außerwissenschaftliche Einstellung? . . . . .	86
3.6	Körperarchitektur und Strategie des Nahrungserwerbs . . . . .	89
3.7	Aufschluss der Nahrung im Fließbandsystem: der Transport . . . . .	91

3.8	Die Verarbeitungsstationen: vom Magen bis zum Ort der Resorption . . . . .	92
3.9	Die Salzsäure des Magens . . . . .	95
3.10	Schutz vor Selbstverdauung und Regelung der Verdauungsprozesse und Arbeitsabläufe . . . . .	97
3.11	Enzyme und sonstige Hilfsmittel zur Erschließung der Nahrung. . . . .	98
3.12	Zur Vertiefung: Befürchtetes und Gefürchtetes: Treibhausgas Methan, Holzerstörung . . . . .	110
3.13	Resorption und Abtransport. . . . .	113
3.14	Regelung der Nahrungsaufnahme. . . . .	115
<b>4</b>	<b>Die Leber und die zentrale interne Grundversorgung. . . . .</b>	<b>121</b>
4.1	Die Leber als Versorgungs-, Handels- und Entsorgungszentrale des Körpers. . . . .	121
4.2	Erste Hauptfunktion der Leber ist die Bereitstellung des Blutzuckers . . . . .	122
4.3	„Blutfette“ und andere Lipide. . . . .	125
4.4	Regelung der Abgabe und Aufnahme von Blutzucker und Blutfetten über die Hormone Insulin und Glucagon . . . . .	128
4.5	Blutproteine und Hormone als Produkte der Leber . . . . .	134
4.6	Cholesterin, seine Abkömmlinge und der enterohepatische Kreislauf . . . . .	134
4.7	Exkretorische und Entgiftungsfunktionen der Leber . . . . .	138
<b>5</b>	<b>Entsorgung und Wasserhaushalt: die Niere . . . . .</b>	<b>143</b>
5.1	Stickstoffentsorgung und extrarenale Exkretion. . . . .	143
5.2	Die expliziten Exkretionsorgane der Lehrtradition . . . . .	151
5.3	Die Nieren der Säuger/des Menschen. . . . .	151
5.4	Zur Vertiefung: Physikalisches und Medizintechnisches zum Thema Niere . . . . .	166
5.5	Die Regelung der Nierenfunktion. . . . .	173
<b>6</b>	<b>Immunologie und die Entsorgung großer Abfallprodukte . . . . .</b>	<b>181</b>
6.1	Blut und die Entsorgung gealterter Zellen . . . . .	181
6.2	Angeborene Abwehrsysteme auf der Basis eines in der Evolution erworbenen Wissens. . . . .	183
6.3	Das lernfähige Immunsystem der Vertebraten. . . . .	189
6.4	Das Generieren von Vielfalt bei der Erzeugung der Antigen-erkennenden Rezeptoren und der Antikörper . . . . .	191
6.5	Funktionen der Antikörper . . . . .	197
6.6	T-Zellen, dendritische Zellen, MHC und Antigenpräsentation. . . . .	200
6.7	Verstärkereffekte und langanhaltende Immunität . . . . .	209
6.8	Lernen von „Selbst oder Fremd“ und Immuntoleranz. . . . .	210
6.9	Entzündungen, Allergien und hemmender Einfluss von Stresshormonen. . . . .	215
6.10	Zur Vertiefung: Aus der Praxis des Labors: monoklonale Antikörper und Immunfluoreszenz . . . . .	216

<b>7</b>	<b>Physiologie der Erythrocyten und Atemorgane</b> . . . . .	219
7.1	Was „Atmung“ meinen kann . . . . .	219
7.2	Zur Vertiefung: Zur Physik der Atemgase. . . . .	219
7.3	Diffusion und Konvektion der Atemgase . . . . .	224
7.4	Hämoglobin, Myoglobin und andere Sauerstoffspeicher	226
7.5	Funktion der Erythrocyten bei der Beseitigung des Kohlendioxids. . . . .	232
7.6	Atemorgane und ihre Ventilation . . . . .	233
7.7	Atem- und sonstige Probleme beim Tauchen . . . . .	240
7.8	Atemnöte und Höhenkrankheit im Gebirge . . . . .	245
<b>8</b>	<b>Der Kreislauf.</b> . . . . .	249
8.1	Verteilerflüssigkeiten vermitteln zwischen Außenwelt und Innenwelt und dienen als Spediteure im Körper . . .	249
8.2	Zur Vertiefung: Ein wenig Strömungsphysik . . . . .	250
8.3	Einkreisssystem der Fische versus Zweikreisssystem der Säuger. . . . .	252
8.4	Im Zentrum steht das Herz . . . . .	255
8.5	Die Steuerung der Blutströme. . . . .	258
8.6	„Blutdruck“ und der weite Weg durch den Körper . . . .	260
8.7	Blutgerinnung, oder wie man Blutgefäße abdichtet. . . .	265
8.8	Wasserkreislauf zwischen Blutkapillaren und Gewebe und das Lymphdrainagesystem . . . . .	267
<b>9</b>	<b>Kontrolle und Regelung von Körperfunktionen unter Mitwirkung des vegetativen Nervensystems.</b> . . . . .	271
9.1	Regelkreisautomaten und ihre Kontrolle durch das autonome, vegetative Nervensystem . . . . .	271
9.2	Das autonome, vegetative Nervensystem als Regel- und Steuerzentrale . . . . .	276
9.3	Zur Vertiefung: Ein Blick in die Entwicklungsgeschichte des Nervensystems . . . .	281
9.4	Regelkreise für Atmung, Kreislauf, Blutdruck . . . . .	281
9.5	Neurovegetative Steuerung durch Sympathicus und Parasympathicus . . . . .	284
9.6	Thermoregulation . . . . .	289
<b>10</b>	<b>Hormonale Steuerung und Signaltransduktion</b> . . . . .	297
10.1	Hormonale versus neuronale Signalübermittlung – Eigentümlichkeiten, Definitionen . . . . .	297
10.2	Koppelung von Hormonsystem und Zentralnervensystem	303
10.3	Das Hormonsystem des Menschen I: die Hypothalamus-Hypophysen-Achse . . . . .	304
10.4	Neurohormone des Hypothalamus . . . . .	309
10.5	Durch die Neurohypophyse freigesetzte Hormone . . . .	313
10.6	Durch die Adenohypophyse freigesetzte Hormone . . . .	314
10.7	Das Hormonsystem des Menschen II: Periphere Hormonquellen (ohne Gonaden) . . . . .	316

10.8	Hormonale Regelung des Blutzuckerspiegels und Energiehaushalts . . . . .	319
10.9	Stress und Hormone . . . . .	324
10.10	Signaltransduktion: die Umcodierung einer externen Botschaft in zellinterne Signale . . . . .	326
10.11	Genregulatorische und andere Funktionen der Steroidhormone und von Thyroxin . . . . .	334
10.12	Das Hormonsystem des Menschen III: Die Steuerung der Sexualentwicklung, des Menstruationszyklus und der Schwangerschaft . . . . .	335
10.13	Hormonsysteme der Metamorphose . . . . .	346
<b>11</b>	<b>Bioelektrische Signale . . . . .</b>	<b>357</b>
11.1	Zur Vertiefung: Ein Minimum an Elektrophysik und Elektrotechnik aus der Sicht des Physiologen. . . . .	358
11.2	Wie eine elektrische Membranspannung entsteht . . . . .	367
11.3	Zur Vertiefung: Gibbs-Donnan-Gleichgewicht und Nernst-Gleichung . . . . .	374
11.4	Ionenkanäle zur Veränderung einer Membranspannung	377
11.5	Fernleitung von Information über Aktionspotentiale . . . . .	382
<b>12</b>	<b>Synapsen: Transmission und Verarbeitung von Information</b>	<b>391</b>
12.1	<i>Gap junctions</i> als elektrische Synapsen . . . . .	391
12.2	Chemische Synapsen: Informationsübertragung mittels Transmitter. . . . .	393
12.3	Konkrete Transmitter . . . . .	396
12.4	Auffangen des Transmitters an der postsynaptischen Membran und Reaktion der Empfängerzelle. . . . .	398
12.5	Die Synapse als Ort der Datenverarbeitung und der Integration verschiedener Stimuli. . . . .	401
12.6	Optogenetik hilft dem Forscher, Synapsen gezielt zu aktivieren oder zu blockieren. . . . .	409
<b>13</b>	<b>Muskelmotoren, EKG und elektrische Organe . . . . .</b>	<b>411</b>
13.1	Die Arbeitsweise einer Muskelfaser . . . . .	412
13.2	Elektromechanische Koppelung: die Auslösung einer Kontraktion . . . . .	420
13.3	Der Muskel als Organ: kooperative Leistungen . . . . .	424
13.4	Steuerung der Motorik über Dehnungssensoren . . . . .	426
13.5	Funktionelle Spezialisierung und Energiequelle. . . . .	430
13.6	Zur Vertiefung: Wie man fliegt . . . . .	436
13.7	Das Herz: sein Schrittmacher und sein EKG . . . . .	440
13.8	Zur Vertiefung: Das EKG . . . . .	443
13.9	Die elektrischen Organe der elektrischen Fische . . . . .	445
<b>14</b>	<b>Allgemeine Sinnesphysiologie, gefühlte Welt und Körperwahrnehmung . . . . .</b>	<b>449</b>
14.1	Von der Physik bis zur Psyche: Reiz, Erregung, Wahrnehmung . . . . .	449
14.2	Prinzipien der Codierung . . . . .	455

14.3	Zur Vertiefung: Piezo- und TRP-Kanäle und die Vielfalt ihrer Einsatzmöglichkeiten bei mehreren Sinnesmodalitäten . . . . .	462
14.4	Psychophysische Korrelate . . . . .	463
14.5	Zur Vertiefung: Die Anfänge der Psychophysik. . . . .	466
14.6	Somatosensorik: die durch Mechano-, Thermo- und Nozizeptoren der Haut vermittelte Sensibilität unseres Körpers . . . . .	467
14.7	Mentale Perzeption: konstruierte Welt und Erfahrung unseres eigenen Körpers . . . . .	469
<b>15</b>	<b>Mechanische Sinne I: Strömungs-, Bewegungs-, Gleichgewichtssinne – und manche mehr . . . . .</b>	<b>473</b>
15.1	Vielfalt der mechanischen Sinne; im Zentrum stehen Kanalproteine . . . . .	473
15.2	Mechanische Sinne zur Kontrolle des Körpers und zur Detektion von Objekten in Dunkelheit und Stille	474
15.3	Vielfalt mechanosensorischer Messgeräte am Beispiel der Sensillen der Insekten und anderer wirbelloser Tiere . .	475
15.4	Schwerkraftmesser und Gleichgewichtssinn . . . . .	479
15.5	Die erstaunliche Nesselzelle . . . . .	483
15.6	„Haar“-Sinneszellen und Neuromasten der Wirbeltiere. .	486
15.7	Das Labyrinth des Innenohrs: Dreh- und Schwerkraft- und Gleichgewichtssinn. . . . .	491
15.8	Einfluss der Dreh- und Gleichgewichtssinne auf das Sehen . . . . .	494
<b>16</b>	<b>Das Gehör . . . . .</b>	<b>501</b>
16.1	Zur Vertiefung: Zu Physik und Biophysik von Schall, Ton und Hören . . . . .	501
16.2	Unser Gehör: seine Bedeutung und unglaubliche Empfindlichkeit . . . . .	507
16.3	Schwierige Untersuchungen, Modelle . . . . .	509
16.4	Die Übertragung des Schalls ins Innenohr . . . . .	509
16.5	Tonhöhen-Unterscheidung (Frequenzanalyse) . . . . .	517
16.6	Zur Perzeption: Tonotopie und Lokalisation einer Schallquelle . . . . .	522
16.7	Hören und Ultraschallortung bei Tieren. . . . .	525
16.8	Zur Vertiefung: Schallkanonen als potenzielle Tötungsmittel – und die Strandung von Walen . . . . .	533
<b>17</b>	<b>Chemische Sinne . . . . .</b>	<b>537</b>
17.1	Bedeutung und erste Übersicht . . . . .	537
17.2	Der Geruchsinn des Riechepithels . . . . .	540
17.3	Das vomeronasale Organ VNO (Jacobson-Organ) . . . .	546
17.4	Der Geschmackssinn . . . . .	549
17.5	Zur Vertiefung: „Geschmacksverstärker“ Glutamat als Krankmacher? . . . . .	556
17.6	Das chemosensorische Trigeminiussystem . . . . .	558
17.7	Geruchs- und Geschmackssinn bei Tieren . . . . .	563

<b>18</b>	<b>Wahrnehmung elektrischer und magnetischer Felder;</b>	
	<b>Infrarotortung</b> . . . . .	569
18.1	Elektrorezeption . . . . .	569
18.2	Zur Vertiefung: Eine kurze Einführung in die Physik elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder . . . . .	576
18.3	Orientierung im Magnetfeld der Erde I: Orientierung dank induzierter elektrischer Spannungen? . . . . .	577
18.4	Orientierung im Magnetfeld der Erde II: Orientierung dank eines Kompasses . . . . .	577
18.5	Infrarotortung . . . . .	596
<b>19</b>	<b>Der Sehsinn</b> . . . . .	601
19.1	Zur Vertiefung: Zur Physik des Lichtes . . . . .	602
19.2	Der Primärvorgang: vom Licht bis zum Rezeptorpotential . . . . .	603
19.3	Die Retina . . . . .	610
19.4	Abbildung: Vorbedingung für Muster- und Bewegungssehen . . . . .	615
19.5	Farbsehen und erste Verarbeitung optischer Information in der Retina . . . . .	624
19.6	Zur Vertiefung: Zur Psychophysik der Farben . . . . .	632
19.7	Datenverarbeitung in der Retina . . . . .	639
19.8	Erstaunliche Vielfalt der Lichtsinnesorgane, Aspekte der Evolution . . . . .	643
19.9	Die Welt mit anderen Augen sehen: das Insektenauge . . . . .	654
19.10	Zur Vertiefung: Polarisiertes Licht . . . . .	662
<b>20</b>	<b>Zur Funktion des Gehirns: die mentale Schwelt</b> . . . . .	667
20.1	Vom Auge zur gesehenen Welt . . . . .	667
20.2	Zur Vertiefung: Untersuchungsmethoden der klassischen und neueren Neurobiologie . . . . .	678
20.3	Gesichtserkennung und Evolution . . . . .	683
20.4	Wahrnehmungspsychologie: von den Daten bis zum Bewusstsein . . . . .	684
20.5	Blindsehen und weitere seltsame Erfahrungen Gehirn-operierter Patienten . . . . .	689
20.6	Interaktionen des mentalen Sehsinnes mit dem Tastsinn und die Wahrnehmung des eigenen Ich . . . . .	694
20.7	Zur Vertiefung: Geist und Seele – nichts als Chemie und Physik? . . . . .	697
<b>21</b>	<b>Lernen, Gedächtnis, prägende Erfahrung</b> . . . . .	703
21.1	Arten von Gedächtnis aus der Sicht der Neurophysiologie . . . . .	703
21.2	Wissenschaftliches Vokabular zum Thema Lernen und Gedächtnis . . . . .	705
21.3	Der Hippocampus und die Lokalisation von Gedächtnisleistungen im Gehirn des Säugers . . . . .	707

21.4	Zelluläre und molekulare Mechanismen von Lernen, Gedächtnisbildung und neuronaler Plastizität . . . . .	709
21.5	Zur Vertiefung: Optogenetik in der Erforschung von Lernen und Gedächtnis . . . . .	718
21.6	Koppelung von Lernprozessen an Emotionen . . . . .	719
21.7	Erinnerung: Wiedererkennen von Gesichtern und Orten, Spiegelneurone . . . . .	720
21.8	Entwicklungsprägende Erfahrung . . . . .	723
<b>22</b>	<b>Sprache des Menschen:</b>	
	<b>Sprachverständnis und Sprechvermögen . . . . .</b>	<b>727</b>
22.1	Sprache kennzeichnet <i>Homo sapiens</i> . . . . .	727
22.2	Sprechvermögen und genetisch bedingte Störungen. . .	731
<b>23</b>	<b>Kommunikation bei Tieren . . . . .</b>	<b>733</b>
23.1	Selbsterzeugte Lichtsignale . . . . .	733
23.2	Zur Vertiefung: GFP in der Forschung. . . . .	737
23.3	Chemische Botschaften: Pheromone und weitere sozialaktive Geruchskomponenten . . . . .	737
23.4	Pheromone und Lebensläufe im Staat der Bienen . . . .	749
23.5	Orientierung und Tanzsprache der Bienen. . . . .	750
23.6	Kommunikation mit seismischen Signalen und mit Infraschall. . . . .	755
<b>24</b>	<b>Fernorientierung und Navigation im Tierreich . . . . .</b>	<b>761</b>
24.1	Wander- und Flugrouten können sich über Tausende von Kilometern erstrecken. . . . .	761
24.2	Zur Vertiefung: Glossar der Verhaltensforschung zum Thema Orientierung . . . . .	763
24.3	Vektornavigation für nah und fern. . . . .	763
24.4	Zugvögel: erstaunliche physiologische Höchstleistungen	765
24.5	Orientierung und Navigation nach Himmelslichter: Sonnen- und Sternenkompass . . . . .	767
24.6	Orientierung und Navigation mittels des Erdmagnetfeldes. . . . .	772
24.7	Fehler im Nebel und weitere Orientierungsmöglichkeiten	773
24.8	Beispiel Brieftauben: Nur multimodale Orientierung gibt Sicherheit . . . . .	774
24.9	Die geheimnisvollen Wanderrouen der Aale . . . . .	775
24.10	Natürliche Strömungen als Transportvehikel . . . . .	777
24.11	Zur Vertiefung: Ein Aufruf: Nutze ICARUS. . . . .	778
<b>25</b>	<b>Biologische Rhythmen und innere Uhren . . . . .</b>	<b>781</b>
25.1	Circadiane Tagesrhythmik . . . . .	781
25.2	Die molekulare Grundkonstruktion der circadianen Uhr	785
25.3	Zentraluhren . . . . .	790
25.4	Schlafen und Wachen . . . . .	796
25.5	Stoppuhren und Taktgeber. . . . .	797
25.6	Langzeitrhythmen . . . . .	798

25.7	Mond- und Gezeitenrhythmen . . . . .	801
25.8	Zur Vertiefung: Geophysikalisches zu Mond- und Gezeitenrhythmen, nebst einer Empfehlung für Exkursionen ins Watt . . . . .	803
25.9	Zu den endogenen Mechanismen der Langzeitzyklen. . .	807
<b>26</b>	<b>Ökophysiologie: Anpassungen an extreme und wechselnde Lebensräume . . . . .</b>	<b>811</b>
26.1	Leben und Überleben in der Kälte . . . . .	811
26.2	Anpassung an extreme Hitze . . . . .	819
26.3	Anpassungen an Sauerstoffarmut . . . . .	820
26.4	In der Tiefsee . . . . .	825
26.5	Wechsel von Salzwasser zu Süßwasser und umgekehrt. .	828
26.6	Wechsel von Land zu Wasser und umgekehrt: Beispiel Amphibien . . . . .	833
26.7	Wechsel der Lebensweise: freier Vagabund oder sesshaft	833
	<b>Anhang: Maßeinheiten und einige Standardwerte der Physiologie</b>	<b>839</b>
	<b>Praktikumsversuche . . . . .</b>	<b>845</b>
V1	Tauchreaktion . . . . .	846
V2	Elektrookulografie (EOG). . . . .	847
V3	Steuerung der Muskelkontraktion. . . . .	848
V4	Reflexe . . . . .	849
V5	Systolischer Blutdruck . . . . .	850
V6	EKG und Puls. . . . .	851
V7	Spirometrie (Lungenvolumen, Lungenkapazitäten und Lungenfunktionstest) . . . . .	852
V8	Stoffwechsel. . . . .	853
V9	Elektroenzephalographie (EEG) . . . . .	854
V10	„Lügendetektor“ . . . . .	855
	<b>Referenzen und weiterführende Literatur. . . . .</b>	<b>857</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>899</b>