Inhaltsverzeichnis

1	Die Sinne – unsere Fenster zur Welt	1
1.1	Wahrnehmung findet im Gehirn statt	2
1.1.1	Gefangen in der Maskenwelt	2
1.1.2	Das Gehirn, das rätselhafte Organ der Wahrnehmung	2
1.2	Wie kommt die Welt in unseren Kopf?	4
1.2.1	Von der Sinneszelle zur Wahrnehmung	4
1.2.2	Wahrnehmung ist ein Urteilsakt des Gehirns	5
1.3	Sinneswelten	6
1.3.1	Sinneswelt, die erste!	6
1.3.2	Sinneswelt, die zweite!	7
1.3.3	Sinneswelt, die dritte!	8
1.4	Vom Sinn der Sinne	9
2	Die Evolution der Sinne	11
2.1	Die Sinne des Menschen und wie er dazu kam	12
2.1.1	Wie viele Sinne hat der Mensch?	12
2.2	Die Evolution der Sinne	14
2.2.1	Die Evolution ist der Motor für die Weiterentwicklung des Lebens	14
2.2.2	Das Prinzip der Zucht – die künstliche Auswahl	16
2.2.3	Das Prinzip der Evolution – die natürliche Auslese	17
2.2.4	Die Eigenschaften unserer Sinnessysteme und die Verarbeitungsstrategien unseres Gehirns sind ein Produkt der Evolution	19
2.2.5	Kinder der Evolution	24
2.2.6	»Wer hat's erfunden?«	25
2.3	Jeder auf seine Art – die Leistungen unserer Sinne sind höchst unterschiedlich	26
2.3.1	Zwei Sinne im Vergleich	26
2.3.2	Vom Sinnesreiz zum Verhalten	29
	Literatur	30
3	Die Sprache der Nervenzellen – und wie man sie versteht	31
3.1	Labor eines Neurowissenschaftlers	32
3.2	Labor 1: Die wunderbare Welt der Nervenzelle	34
3.2.1	Nervenzellen sind die Funktionseinheiten des Gehirns	34
3.2.2	Aufbau einer Nervenzelle	34
3.2.3	Was macht die Nervenzelle zur Nervenzelle?	38
3.2.4	Warum können Nervenzellen Signale übertragen?	41
3.3	Labor 2: Von Ionen und Membranen – wie Nervenzellen eine elektrische Spannung aufbauen	41
3.3.1	Ionen sind die Grundlage für elektrische Signale in Nervenzellen	41
3.3.2	Ionenpumpen bauen Unterschiede zwischen dem Inneren der Zelle und ihrer Umgebung auf	43
3.3.3	Ionenkanäle sind elektrische Schalter in der Zellmembran	44
3.4	Labor 3: Aktionspotenziale sind die Sprache unseres Nervensystems	46

3.4.1	Die Membranspannung spiegelt die Aktivität einer Nervenzelle wider	46
3.4.2	Aktionspotenziale leiten Signale über lange Strecken	48
3.5	Labor 4: Wie Nervenzellen Information austauschen	52
3.5.1	Synapsen übertragen die Information chemisch	52
3.6	Labor 5: Wie man mit Nervenzellen einen Hochleistungsrechner baut	56
3.6.1	Die Grundlagen des neuronalen Rechnens: Konvergenz und Divergenz, Erregung und Hemmung	56
3.6.2	Der Rechner in der Nervenzelle	59
3.6.3	Die schreckhafte Maus oder die Rückwärtshemmung als Notbremse	61
	Literatur.....	62
4	Von der Sinneszelle zum Gehirn	63
4.1	Vom Reiz zum elektrischen Signal – die Signalwandlung	64
4.1.1	Eine komplizierte Aufgabe	64
4.1.2	Sinneszellen besitzen ein spezialisiertes Außensegment	64
4.1.3	Die einfachste Art der Signalwandlung: Rezeptor und Ionenkanal sind in einem Protein zusammengefasst	65
4.1.4	Signalwandlung mit dem Baukastensystem – die G-Protein-gekoppelte Signalkaskade... ..	66
4.2	Adaptation	69
4.2.1	Sinneszellen passen sich an die Umgebung an – sie adaptieren	69
4.3	Codierung der Sinnesinformation	71
4.3.1	Sinnesreize werden in der Abfolge von Aktionspotenzialen codiert und an das Gehirn geschickt	71
4.4	Die geordnete Verschaltung der Sinnesinformation	72
4.4.1	Ordnung im Strom der Sinnesinformation	72
4.4.2	Ordnung auf höchster Ebene – die topografische Abbildung	73
4.4.3	Die Sinnesinformation wird gefiltert.....	74
	Literatur.....	75
5	Schmecken	77
5.1	Vom Sinn des Schmeckens	78
5.2	Geschmackszellen überprüfen die Nahrung	79
5.3	Sauer und salzig: Ionenkanäle auf der Zunge	81
5.4	Bittere Gifte	84
5.5	Köstlicher Geschmack: Süß und umami	87
5.6	Der »Scharfgeschmack« ist eigentlich ein Schmerzreiz	89
5.7	Die Geschmacksempfindung	90
5.8	Andere Lösungen	92
	Literatur.....	93
6	Riechen	95
6.1	Die Vielfalt der Gerüche ist grenzenlos	96
6.2	Riechzellen in der Nase detektieren Duftstoffe	97
6.3	Im Gehirn entstehen Geruchsbilder	102
6.4	Bleib jung! Das Riechsystem erneuert sich selbst	105
6.5	Das Riechen mit Zilien	106
6.6	Pheromone organisieren das Sozialleben	108

6.7	Was uns an Gerüchen interessiert	113
6.8	Leben, ohne zu riechen.	115
	Literatur.	116
7	Sehen	117
7.1	Augen auf – und dann?	119
7.1.1	Ball, Satz und Sieg!	119
7.1.2	Betrachten wir die Sache mit dem Sehen mal bei Licht	119
7.1.3	Was wir in diesem Kapitel sehen werden	122
7.1.4	Was ist eigentlich Licht?	123
7.2	Das Auge.	124
7.2.1	»Ich seh dir in die Augen, Kleines!«	124
7.2.2	Auf den ersten Blick ähnelt unser Auge einer Kamera.	126
7.2.3	Nur im winzigen Zentrum unseres Bildfeldes sehen wir wirklich scharf	129
7.2.4	Die Verteilung der Photorezeptoren erfolgt als Anpassung an die Lebensweise	133
7.2.5	Wer hat die schärfsten Augen?	134
7.3	Wie unsere Photorezeptoren Licht in die Sprache des Nervensystems übersetzen – die Phototransduktion	136
7.3.1	Das Außensegment ist die lichtempfindliche Antenne des Photorezeptors	136
7.3.2	Der erste Schritt beim Sehen: Ein Farbstoffmolekül im Photorezeptor absorbiert das Lichtquant	138
7.3.3	Die elektrische Lichtantwort unserer Photorezeptoren ist außergewöhnlich	139
7.3.4	Unsere Photorezeptoren – die etwas anderen Zellen	141
7.3.5	Ein Stäbchen kann zwar auf ein Lichtquant reagieren, wahrnehmen können wir ein einzelnes Lichtquant aber nicht	143
7.3.6	Besser als jeder fotografische Film: Die Anpassungsleistung der Netzhaut	144
7.3.7	Immer in Bewegung bleiben – wie Mikrosakkaden unsere Wahrnehmung stabilisieren. ...	146
7.4	Farbsehen	148
7.4.1	Drei Sehpigmente in den Zapfen ermöglichen uns das Farbsehen	148
7.4.2	Die trichromatische Theorie der Farbwahrnehmung	151
7.4.3	Farbsehstörungen.	151
7.4.4	Die Evolution des Farbsehens.	153
7.5	Die Retina – der Rechner im Auge	155
7.5.1	Die Netzhaut besteht nicht nur aus Photorezeptoren	155
7.5.2	Die Information wird im retinalen Netzwerk weiterverarbeitet	157
7.5.3	Die Sprache der Ganglienzellen	158
7.5.4	Vorteil eins: Objektrennung durch Kontrastverschärfung!	160
7.5.5	Vorteil zwei: Die Informationsflut wird reduziert.	162
7.5.6	Vorteil drei: Unabhängig werden von der Beleuchtung	163
7.5.7	Wie die Antwort im Zentrum des rezeptiven Feldes erzeugt wird.	166
7.5.8	Wie die Retina durch laterale Hemmung rezeptive Felder erzeugt.	167
7.5.9	Ganglienzellen sind neuronale Filter.	169
7.5.10	Auf ins Gehirn!	172
7.6	Eine Reise durch das Sehsystem	173
7.6.1	Von der Retina bis zur primären Sehrinde.	173
7.6.2	Die Sehrinde ist hochorganisiert	175
7.6.3	Die meisten rezeptiven Felder in der primären Sehrinde reagieren auf Kanten und Linien	176

7.6.4	Jenseits der primären Sehrinde	179
7.6.5	Der dorsale Pfad: Die Wo-wie-wohin-Bahn	180
7.6.6	Der ventrale Pfad: die Was-Bahn	181
7.6.7	Wo, bitte, geht's zur Großmutterzelle?	182
7.6.8	Andere Lösungen: Komplexaugen	186
	Literatur	188
8	Hören	189
8.1	Bei Nacht im Kreidewald	190
8.2	Schall hören	191
8.2.1	Von der Schallquelle in das Ohr	191
8.2.2	Die Vielfalt des Hörens: Töne, Klänge, Geräusche	192
8.3	Cochlea – die tonotope Hörschnecke	194
8.3.1	Resonanz und Wanderwellen	194
8.3.2	Aufbau der Cochlea	195
8.3.3	Der Verstärker des Corti-Organes	196
8.3.4	Innere Haarzellen – empfindlicher geht es nicht	198
8.3.5	Die mechanoelektrische Transduktion	202
8.3.6	Haarzellen übertragen ihr Signal auf Nervenfasern	204
8.4	Unsere Hörwelt	206
8.4.1	Schallortung	206
8.4.2	Die Wahrnehmung von Sprache	210
8.4.3	Musik – der direkte Weg zur Emotion	214
8.5	Die Hörwelt der anderen: Echoortung	216
8.5.1	»Sehen mit den Ohren«	216
8.5.2	Die Kunst der Echoortung	218
8.5.3	Angewandte Physik – die Fledermaus nutzt den Dopplereffekt	221
8.6	Andere Lösungen: Mit den Knochen hören	223
	Literatur	226
9	Orientierung und Navigation	227
9.1	Wo bin ich?	228
9.2	Die Orientierung an chemischen Signalen	229
9.3	Visuelle Orientierung	231
9.3.1	Sonne und Polarstern dienen als Orientierungshilfe	231
9.3.2	Die Detektion von polarisiertem Licht	233
9.4	Der magnetische Kartensinn	236
9.4.1	Das Magnetfeld der Erde	236
9.4.2	Magnetsinn bei Vögeln	240
	Literatur	247
10	Tasten und Fühlen	249
10.1	Unsere Haut	250
10.2	Tasthaare	252
10.3	Schmerz – Warnung und Leid	254
10.4	Kälte, Wärme, Infrarot	264
	Literatur	268

11	Unsere Innenwelt	269
11.1	Regelkreise organisieren den Körper	270
11.2	Muskelspindeln	271
11.3	Der Gleichgewichtssinn	273
11.4	Ausleuchtung der Innenwelt: Die Endorezeptoren	276
	Literatur	278
12	Wahrnehmung	279
12.1	Was ist Wahrnehmung?	281
12.1.1	Der erste Schritt: Wahrnehmung ist indirekt – unser Gehirn muss die Umwelt deshalb rekonstruieren	281
12.1.2	Der zweite Schritt zur Wahrnehmung: Die Rekonstruktion unserer Umwelt erfolgt nicht „wertfrei“ – unser Gehirn stellt eine Hypothese über die Umwelt auf	283
12.2	Prinzipien der Objekterkennung	285
12.2.1	Das Gehirn nutzt zur Wahrnehmung von Objekten einfache Prinzipien	285
12.3	Trennung von Objekt und Hintergrund	289
12.3.1	Unser Gehirn „übertreibt“ beim Trennen von Objekt und Hintergrund	289
12.3.2	Wettstreit der Strategien	289
12.3.3	Scheinkonturen – wir sehen etwas, das gar nicht ist	292
12.4	Wahrnehmung von Bewegung	293
12.4.1	Bewegung ist einer der wichtigsten Parameter in einer belebten Umwelt	293
12.4.2	Wer bewegt sich – du oder ich?	293
12.5	Wahrnehmung von Tiefe	296
12.5.1	Wie erzeugt unser Gehirn eine dreidimensionale Wahrnehmung aus einem zweidimensionalen Retinabild?	296
12.5.2	Auch ein zweidimensionales Bild kann Tiefeninformation enthalten	296
12.5.3	Erst das Sehen mit zwei Augen erlaubt die optimale Tiefenwahrnehmung	297
12.5.4	Die Wunderwelt des Stereogramms	300
12.5.5	Zufallspunktbilder – Tiefe aus dem Rauschen	301
12.5.6	Das Pulfrich-Pendel – oder: Täuschung ist die Wahrnehmung einer falschen Hypothese ...	304
12.6	Wahrnehmung von Größe	306
12.6.1	Das Prinzip der Größenkonstanz – damit aus Riesen keine Zwerge werden	306
12.6.2	Wenn Kugeln wachsen und schrumpfen – Größenkonstanz beim Pulfrich-Pendel	308
12.7	Wettstreit der Sinne, Körpertauch, Magie und andere Illusionen	309
12.7.1	Das Gehirn sucht aktiv nach Information	309
12.7.2	Wahrnehmung ist ein Erinnerungsprozess	310
12.7.3	Zur lückenlosen, geordneten Wahrnehmung muss das Gehirn unser Zeitempfinden bei der Wahrnehmung manipulieren	311
12.7.4	Unser Gedächtnis ist die tragende Säule unserer Wahrnehmung	312
12.7.5	»Blinde hören besser als Sehende« – Mythos oder Wirklichkeit?	314
12.7.6	Ist die Wahrnehmung des eigenen Körpers auch nur ein Konstrukt unseres Gehirns?	316
12.7.7	Wahrnehmung ist abhängig von unserer Aufmerksamkeit	318
12.7.8	Selektive Aufmerksamkeit führt zur Blindheit für andere Reize	318
12.7.9	Aufmerksamkeit verändert die Physiologie des Gehirns	319
12.7.10	Wahrnehmungsexperten der besonderen Art	321
12.7.11	Im Gleichschritt zur Wahrnehmung	322
12.7.12	Was wir von Patienten mit Wahrnehmungsstörungen lernen können	324
	Literatur	326

13	Anhang	327
13.1	Herstellung von Masken	328
13.2	Die versteckte Maus	328
13.3	Die Täuschung nach Koffka	328
13.4	Suchbilder	328
13.5	Gedankenlesen aus der Ferne	328
	Glossar	333
	Stichwortverzeichnis	345