

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!	9
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	20
2.2.5	Kinder der Evolution	24
2.2.6	„Wer hat's erfunden?“	26
2.3	Jeder auf seine Art – die Leistungen unserer Sinne sind höchst unterschiedlich	27
2.3.1	Zwei Sinne im Vergleich	27
2.3.2	Vom Sinnesreiz zum Verhalten	29
	Weiterführende Literatur	31
3	Die Sprache der Nervenzellen – und wie man sie versteht	33
3.1	Labor eines Neurowissenschaftlers	35
3.2	Labor 1: Die wunderbare Welt der Nervenzelle	37
3.2.1	Nervenzellen sind die Funktionseinheiten des Gehirns	37
3.2.2	Aufbau einer Nervenzelle	37
3.2.3	Was macht die Nervenzelle zur Nervenzelle?	40
3.2.4	Warum können Nervenzellen Signale übertragen?	44
3.3	Labor 2: Von Ionen und Membranen – wie Nervenzellen eine elektrische Spannung aufbauen	45
3.3.1	Ionen sind die Grundlage für elektrische Signale in Nervenzellen	45
3.3.2	Ionenpumpen bauen Unterschiede zwischen dem Inneren der Zelle und ihrer Umgebung auf	47
3.3.3	Ionenkanäle sind elektrische Schalter in der Zellmembran	48
3.4	Labor 3: Aktionspotenziale sind die Sprache unseres Nervensystems	51

3.4.1	Die Membranspannung spiegelt die Aktivität einer Nervenzelle wider.....	51
3.4.2	Aktionspotenziale leiten Signale über lange Strecken	52
3.5	Labor 4: Wie Nervenzellen Information austauschen.	58
3.5.1	Synapsen übertragen die Information chemisch	58
3.6	Labor 5: Wie man mit Nervenzellen einen Hochleistungsrechner baut.	61
3.6.1	Die Grundlagen des neuronalen Rechnens: Konvergenz und Divergenz, Erregung und Hemmung	61
3.6.2	Der Rechner in der Nervenzelle	64
3.6.3	Die schreckhafte Maus oder die Rückwärtshemmung als Notbremse	66
	Weiterführende Literatur	67
4	Von der Sinneszelle zum Gehirn	69
4.1	Vom Reiz zum elektrischen Signal – die Signalwandlung.	70
4.1.1	Eine komplizierte Aufgabe	70
4.1.2	Sinneszellen besitzen ein spezialisiertes Außensegment.	70
4.1.3	Die einfachste Art der Signalwandlung: Rezeptor und Ionenkanal sind in einem Protein zusammengefasst	71
4.1.4	Signalwandlung mit dem Baukastensystem – die G-Protein-gekoppelte Signalkaskade.....	72
4.2	Adaptation	76
4.2.1	Sinneszellen passen sich an die Umgebung an – sie adaptieren	76
4.3	Codierung der Sinnesinformation	77
4.3.1	Sinnesreize werden in der Abfolge von Aktionspotenzialen codiert und an das Gehirn geschickt	77
4.4	Die geordnete Verschaltung der Sinnesinformation	78
4.4.1	Ordnung im Strom der Sinnesinformation	78
4.4.2	Ordnung auf höchster Ebene – die topografische Abbildung	81
4.4.3	Die Sinnesinformation wird gefiltert.....	81
	Weiterführende Literatur	82
5	Schmecken	83
5.1	Vom Sinn des Schmeckens	84
5.2	Geschmackszellen überprüfen die Nahrung	86
5.3	Sauer und salzig: Ionenkanäle auf der Zunge	86
5.4	Bittere Gifte	91
5.5	Köstlicher Geschmack: Süß und umami.	94
5.6	Der „Scharfgeschmack“ ist eigentlich ein Schmerzreiz	96
5.7	Die Geschmacksempfindung	98
5.8	Andere Lösungen	99
	Weiterführende Literatur	100
6	Riechen	101
6.1	Die Vielfalt der Gerüche ist grenzenlos	102
6.2	Riechzellen in der Nase detektieren Duftstoffe	103
6.3	Im Gehirn entstehen Geruchsbilder	110
6.4	Bleib jung! Das Riechsystem erneuert sich selbst	112
6.5	Das Riechen mit Zilien	112

6.6	Pheromone organisieren das Sozialleben	114
6.7	Was uns an Gerüchen interessiert	119
6.8	Leben, ohne zu riechen	123
	Weiterführende Literatur	123
7	Sehen	125
7.1	Augen auf – und dann?	128
7.1.1	Ball, Satz und Sieg!	128
7.1.2	Betrachten wir die Sache mit dem Sehen mal bei Licht	128
7.1.3	Was wir in diesem Kapitel sehen werden	130
7.1.4	Was ist eigentlich Licht?	131
7.2	Das Auge	132
7.2.1	„Ich seh dir in die Augen, Kleines!“	132
7.2.2	Auf den ersten Blick ähnelt unser Auge einer Kamera	134
7.2.3	Nur im winzigen Zentrum unseres Bildfeldes sehen wir wirklich scharf	137
7.2.4	Die Verteilung der Photorezeptoren erfolgt als Anpassung an die Lebensweise	142
7.2.5	Wer hat die schärfsten Augen?	143
7.3	Wie unsere Photorezeptoren Licht in die Sprache des Nervensystems übersetzen – die Phototransduktion	146
7.3.1	Das Außensegment ist die lichtempfindliche Antenne des Photorezeptors	146
7.3.2	Der erste Schritt beim Sehen: Ein Farbstoffmolekül im Photorezeptor absorbiert das Lichtquant	148
7.3.3	Die elektrische Lichtantwort unserer Photorezeptoren ist außergewöhnlich	149
7.3.4	Unsere Photorezeptoren – die etwas anderen Zellen	151
7.3.5	Ein Stäbchen kann zwar auf ein Lichtquant reagieren, wahrnehmen können wir ein einzelnes Lichtquant aber nicht	154
7.3.6	Besser als jeder fotografische Film: Die Anpassungsleistung der Netzhaut	154
7.3.7	Immer in Bewegung bleiben – wie Mikrosakkaden unsere Wahrnehmung stabilisieren	157
7.4	Farbsehen	158
7.4.1	Drei Sehpigmente in den Zapfen ermöglichen uns das Farbsehen	158
7.4.2	Die trichromatische Theorie der Farbwahrnehmung	162
7.4.3	Farbsehstörungen	162
7.4.4	Die Evolution des Farbsehens	163
7.5	Die Retina – der Rechner im Auge	166
7.5.1	Die Netzhaut besteht nicht nur aus Photorezeptoren	166
7.5.2	Die Information wird im retinalen Netzwerk weiterverarbeitet	167
7.5.3	Die Sprache der Ganglienzellen	169
7.5.4	Vorteil eins: Objektrennung durch Kontrastverschärfung!	171
7.5.5	Vorteil zwei: Die Informationsflut wird reduziert	173
7.5.6	Vorteil drei: Unabhängig werden von der Beleuchtung	174
7.5.7	Wie die Antwort im Zentrum des rezeptiven Feldes erzeugt wird	178
7.5.8	Wie die Retina durch laterale Hemmung rezeptive Felder erzeugt	178
7.5.9	Ganglienzellen sind neuronale Filter	180
7.5.10	Auf ins Gehirn!	184
7.6	Eine Reise durch das Sehsystem	184
7.6.1	Von der Retina bis zur primären Sehrinde	184
7.6.2	Die Sehrinde ist hochorganisiert	187

7.6.3	Die meisten rezeptiven Felder in der primären Sehrinde reagieren auf Kanten und Linien	188
7.6.4	Jenseits der primären Sehrinde	192
7.6.5	Der dorsale Pfad: Die Wo-wie-wohin-Bahn	193
7.6.6	Der ventrale Pfad: die Was-Bahn	194
7.6.7	Wo, bitte, geht's zur Großmutterzelle?	196
7.6.8	Andere Lösungen: Komplexaugen.	198
	Weiterführende Literatur	201
8	Hören	203
8.1	Bei Nacht im Kreidewald	204
8.2	Schall hören	205
8.2.1	Von der Schallquelle in das Ohr	205
8.2.2	Die Vielfalt des Hörens: Töne, Klänge, Geräusche	207
8.3	Cochlea – die tonotope Hörschnecke	208
8.3.1	Resonanz und Wanderwellen	208
8.3.2	Aufbau der Cochlea	209
8.3.3	Der Verstärker des Corti-Organs	211
8.3.4	Innere Haarzellen – empfindlicher geht es nicht.	213
8.3.5	Die mechanoelektrische Transduktion	217
8.3.6	Haarzellen übertragen ihr Signal auf Nervenfasern	219
8.4	Unsere Hörwelt	221
8.4.1	Schallortung	221
8.4.2	Die Wahrnehmung von Sprache	225
8.4.3	Musik – der direkte Weg zur Emotion	229
8.5	Die Hörwelt der anderen: Echoortung	232
8.5.1	„Sehen mit den Ohren“	232
8.5.2	Die Kunst der Echoortung	234
8.5.3	Angewandte Physik – die Fledermaus nutzt den Dopplereffekt	238
8.6	Andere Lösungen: Mit den Knochen hören	240
	Weiterführende Literatur	243
9	Orientierung und Navigation	245
9.1	Wo bin ich?	246
9.2	Die Orientierung an chemischen Signalen	247
9.3	Visuelle Orientierung	250
9.3.1	Sonne und Polarstern dienen als Orientierungshilfe	250
9.3.2	Die Detektion von polarisiertem Licht	252
9.4	Der magnetische Kartensinn	255
9.4.1	Das Magnetfeld der Erde	255
9.4.2	Magnetsinn bei Vögeln	259
	Weiterführende Literatur	266
10	Tasten und Fühlen	267
10.1	Unsere Haut	268
10.2	Tasthaare	271
10.3	Schmerz – Warnung und Leid	273

10.4	Kälte, Wärme, Infrarot	283
	Weiterführende Literatur	287
11	Unsere Innenwelt	289
11.1	Regelkreise organisieren den Körper	290
11.2	Muskelspindeln	292
11.3	Der Gleichgewichtssinn	293
11.4	Ausleuchtung der Innenwelt: Die Endorezeptoren	296
	Weiterführende Literatur	299
12	Wahrnehmung	301
12.1	Was ist Wahrnehmung?	303
12.1.1	Der erste Schritt: Wahrnehmung ist indirekt – unser Gehirn muss die Umwelt deshalb rekonstruieren	304
12.1.2	Der zweite Schritt zur Wahrnehmung: Die Rekonstruktion unserer Umwelt erfolgt nicht „wertfrei“ – unser Gehirn stellt eine Hypothese über die Umwelt auf	305
12.2	Prinzipien der Objekterkennung	308
12.2.1	Das Gehirn nutzt zur Wahrnehmung von Objekten einfache Prinzipien	308
12.3	Trennung von Objekt und Hintergrund	313
12.3.1	Unser Gehirn „übertreibt“ beim Trennen von Objekt und Hintergrund	313
12.3.2	Wettstreit der Strategien	314
12.3.3	Scheinkonturen – wir sehen etwas, das gar nicht ist	315
12.4	Wahrnehmung von Bewegung	316
12.4.1	Bewegung ist einer der wichtigsten Parameter in einer belebten Umwelt	316
12.4.2	Wer bewegt sich – du oder ich?	317
12.5	Wahrnehmung von Tiefe	320
12.5.1	Wie erzeugt unser Gehirn eine dreidimensionale Wahrnehmung aus einem zweidimensionalen Retinabild?	320
12.5.2	Auch ein zweidimensionales Bild kann Tiefeninformation enthalten	320
12.5.3	Erst das Sehen mit zwei Augen erlaubt die optimale Tiefenwahrnehmung	321
12.5.4	Die Wunderwelt des Stereogramms	323
12.5.5	Zufallspunktbilder – Tiefe aus dem Rauschen	325
12.5.6	Das Pulfrich-Pendel – oder: Täuschung ist die Wahrnehmung einer falschen Hypothese	326
12.6	Wahrnehmung von Größe	329
12.6.1	Das Prinzip der Größenkonstanz – damit aus Riesen keine Zwerge werden	329
12.6.2	Wenn Kugeln wachsen und schrumpfen – Größenkonstanz beim Pulfrich-Pendel	332
12.7	Wettstreit der Sinne, Körpertausch, Magie und andere Illusionen	333
12.7.1	Das Gehirn sucht aktiv nach Information	333
12.7.2	Wahrnehmung ist ein Erinnerungsprozess	334
12.7.3	Zur lückenlosen, geordneten Wahrnehmung muss das Gehirn unser Zeitempfinden bei der Wahrnehmung manipulieren	335
12.7.4	Unser Gedächtnis ist die tragende Säule unserer Wahrnehmung	336
12.7.5	„Blinde hören besser als Sehende“ – Mythos oder Wirklichkeit?	339
12.7.6	Ist die Wahrnehmung des eigenen Körpers auch nur ein Konstrukt unseres Gehirns?	340
12.7.7	Wahrnehmung ist abhängig von unserer Aufmerksamkeit	341

12.7.8	Selektive Aufmerksamkeit führt zur Blindheit für andere Reize	343
12.7.9	Aufmerksamkeit verändert die Physiologie des Gehirns	344
12.7.10	Wahrnehmungsexperten der besonderen Art	346
12.7.11	Im Gleichschritt zur Wahrnehmung	347
12.7.12	Was wir von Patienten mit Wahrnehmungsstörungen lernen können	349
	Weiterführende Literatur	351
13	Anhang	353
13.1	Herstellung von Masken	354
13.2	Die versteckte Maus	354
13.3	Die Täuschung nach Koffka	355
13.4	Suchbilder	355
13.5	Gedankenlesen aus der Ferne	355
	Serviceteil	
	Glossar	362
	Stichwortverzeichnis	371