

# Auf einen Blick

<b>Über den Autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>21</b>
<b>Teil I: Darf ich vorstellen: Ihr Nervensystem</b> .....	<b>27</b>
<b>Kapitel 1:</b> Ein Kurztrip durch das Nervensystem .....	29
<b>Kapitel 2:</b> Unter der Lupe: Gehirnareale und Leitungsbahnen des Rückenmarks ..	41
<b>Kapitel 3:</b> Wie Neuronen arbeiten .....	67
<b>Kapitel 4:</b> Das vegetative Nervensystem .....	79
<b>Kapitel 5:</b> Unser Schlaf und zirkadianer Rhythmus .....	85
<b>Kapitel 6:</b> Entstehung und Entwicklung des Gehirns .....	91
<b>Kapitel 7:</b> Methoden der Neurowissenschaft und klinischen Forschung .....	105
<b>Teil II: Die innere und äußere Welt wahrnehmen: Unsere Sinne</b> .....	<b>111</b>
<b>Kapitel 8:</b> Einblicke in das Sehen .....	113
<b>Kapitel 9:</b> Der Hörsinn .....	131
<b>Kapitel 10:</b> Geruchs- und Geschmackssinn .....	145
<b>Kapitel 11:</b> Fühlen: Die Sinne der Haut .....	159
<b>Teil III: Immer in Bewegung bleiben: Das motorische Nervensystem</b> .....	<b>173</b>
<b>Kapitel 12:</b> Die Grundlagen der Bewegung .....	175
<b>Kapitel 13:</b> Handlungen planen und ausführen .....	185
<b>Kapitel 14:</b> Verletzungen und Erkrankungen des motorischen Systems .....	193
<b>Teil IV: Höhere kognitive Funktionen: Intelligenz, soziale Kognition und Bewusstsein</b> .....	<b>197</b>
<b>Kapitel 15:</b> Intelligenz .....	199
<b>Kapitel 16:</b> Das exekutive Gehirn .....	211
<b>Kapitel 17:</b> Soziale Kognition, Emotionen und Empathie .....	223
<b>Kapitel 18:</b> Lernen und Gedächtnis .....	235
<b>Kapitel 19:</b> Bewusstsein .....	251
<b>Kapitel 20:</b> Wenn das Gehirn strauchelt: Ursachen, Auswirkungen und psychopharmakologische Therapiemöglichkeiten .....	265
<b>Teil V: Der Top-Ten-Teil</b> .....	<b>283</b>
<b>Kapitel 21:</b> (Knapp) zehn Innovationen der Neurowissenschaften .....	285
<b>Kapitel 22:</b> Zehn Tricks der Neuronen .....	293
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>299</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>303</b>



# Inhaltsverzeichnis

<b>Über den Autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>21</b>
Über dieses Buch .....	21
Konventionen in diesem Buch .....	22
Was Sie nicht lesen müssen .....	22
Törichte Annahmen über den Leser .....	22
Wie dieses Buch aufgebaut ist .....	23
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden .....	25
Wie es weitergeht .....	25
<b>TEIL I</b>	
<b>DARF ICH VORSTELLEN: IHR NERVENSYSTEM</b> .....	<b>27</b>
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Ein Kurztrip durch das Nervensystem</b> .....	<b>29</b>
Wie unser Nervensystem entstand .....	29
Spezialisieren und kommunizieren .....	30
Sich koordiniert bewegen .....	30
Die Entwicklung komplexer Tiere .....	30
Der Neokortex .....	31
Die Funktion des Nervensystems .....	33
Die wichtige Rolle der Nervenzellen .....	34
Signalverarbeitung in Schaltkreisen, Segmenten und Modulen .....	35
Die graue und die weiße Substanz .....	36
Was für eine Ladung: Elektrizität im Gehirn .....	36
Der modulare Aufbau des Nervensystems .....	36
Sensorik und Motorik .....	37
Die Welt wahrnehmen .....	37
Immer in Bewegung: Motorische Nervenzellen .....	38
Höhere kognitive Prozesse .....	38
Der Präfrontalkortex: Dreh- und Angelpunkt der Kognition .....	39
Intelligenz, Sprache und Gedächtnis .....	39
<b>Kapitel 2</b>	
<b>Unter der Lupe: Gehirnareale und Leitungsbahnen des Rückenmarks</b> .....	<b>41</b>
Ein Blick in den Kopf: Das Gehirn und seine Areale .....	42
Der Neokortex .....	42
Unterhalb der Hirnrinde: Der Thalamus als Tor zum Neokortex .....	52
Das limbische System und andere wichtige subkortikale Bereiche .....	56
Weibliches und männliches Gehirn: Geschlechtsspezifische Unterschiede .....	60

## 14 Inhaltsverzeichnis

Das Rückenmark: Der Vermittler zwischen den Nervensystemen . . . . .	61
Übertragung zwischen Gehirn und Rückenmark . . . . .	62
Der Rückenmarksreflex. . . . .	64
Kommunikation innerhalb des Rückenmarks und zum Gehirn . . . . .	65
<b>Kapitel 3</b>	
<b>Wie Neuronen arbeiten . . . . .</b>	<b>67</b>
Das Neuron: Eine ganz besondere Zelle . . . . .	67
Der Informationsaustausch zwischen Neuronen: Die Synapsen . . . . .	69
Informationen aus der Umwelt aufnehmen: Spezialisierte Rezeptoren . . . . .	70
Die drei funktionellen Klassen von Neurotransmittern . . . . .	70
Neuronen als elektrische Signalgeber . . . . .	71
Das Aktionspotenzial. . . . .	72
Der Kreis schließt sich: Vom Aktionspotenzial zur Neurotransmitterausschüttung . . . . .	74
Bewegung durch Motoneuronen . . . . .	75
Wir sind nicht nur Nervenzellen: Die Gliazellen . . . . .	76
Astrozyten . . . . .	76
Oligodendrozyten und Schwann'sche Zellen . . . . .	77
Mikrogliazellen . . . . .	77
<b>Kapitel 4</b>	
<b>Das vegetative Nervensystem . . . . .</b>	<b>79</b>
Arbeit hinter den Kulissen: Das vegetative Nervensystem . . . . .	80
Der Sympathikus: Kämpfen oder fliehen? . . . . .	80
Der Parasympathikus: Alles im grünen Bereich! . . . . .	80
Teilen und herrschen: Das sympathische und das parasympathische Nervensystem im Alltag . . . . .	81
Die Aktivität verschiedener Organe anpassen. . . . .	82
Wechsel zwischen Ruhe und Aktivität. . . . .	82
Das vegetative Nervensystem und chronischer Stress . . . . .	83
<b>Kapitel 5</b>	
<b>Unser Schlaf und zirkadianer Rhythmus . . . . .</b>	<b>85</b>
Die biologische Uhr durch Licht synchronisieren . . . . .	86
Die verschiedenen Schlafstadien . . . . .	86
Der Non-REM-Schlaf (NREM) . . . . .	86
Der REM-Schlaf . . . . .	87
Der innere Rhythmus und damit verbundene Neurotransmitter . . . . .	89
Keine süßen Träume: Schlafstörungen . . . . .	89
<b>Kapitel 6</b>	
<b>Entstehung und Entwicklung des Gehirns . . . . .</b>	<b>91</b>
Entwicklung nach der Befruchtung . . . . .	92
Entstehung aus dem Ektoderm: Das embryonale Nervensystem . . . . .	92
Ein Exkurs in die Genetik: Wie die Gehirnbildung im Erbgut festgelegt ist . . . . .	94

Die Entwicklung des Kortex: Schicht für Schicht . . . . . 95  
     Neuronale Stammzellen und die Migration von Vorläuferzellen . . . . . 96  
     Alles verkabeln: Wie Axone verschiedene Hirnareale  
     miteinander verbinden . . . . . 99  
 Aus Erfahrungen lernen: Plastizität und Entwicklung kortikaler Landkarten . . . 100  
     Sehen, Hören, Berühren – Landkarten in unserem Kopf . . . . . 101  
     Das Hebb'sche Gesetz . . . . . 101  
 Das alternde Gehirn . . . . . 103

**Kapitel 7  
 Methoden der Neurowissenschaft und klinischen  
 Forschung . . . . . 105**

Läsionen: Was uns Gehirnverletzungen verraten . . . . . 105  
     Revolution in der Hirnforschung: Reversible Läsionen durch  
     gezielte Hirnstimulation . . . . . 106  
 Messtechniken der elektrischen Aktivität und Informationsübertragung  
 im Gehirn . . . . . 107  
     Elektroenzephalografie (EEG) . . . . . 107  
     Invasive Messtechniken der Elektrophysiologie . . . . . 107  
     Magnetoenzephalografie (MEG) . . . . . 108  
     Optische Messmethoden der Informationsübertragung . . . . . 109  
 Bildgebende Verfahren zur Untersuchung von Gehirnfunktionen . . . . . 109  
     PET und SPECT . . . . . 109  
     Funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) . . . . . 110  
     Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI) . . . . . 110  
     Funktionale Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) . . . . . 110

**TEIL II  
 DIE INNERE UND ÄUßERE WELT WAHRNEHMEN:  
 UNSERE SINNE . . . . . 111**

**Kapitel 8  
 Einblicke in das Sehen . . . . . 113**

Ein flüchtiger Blick auf Ihre Augen . . . . . 114  
     Die Netzhaut: Photonen werden in elektrische Signale umgewandelt . . . 114  
     Photonen einfangen: Licht und Fototransduktion . . . . . 115  
     Die Informationen zum Gehirn schicken . . . . . 116  
     Signale der Fotorezeptoren verarbeiten: Horizontal- und Bipolarzellen . . 119  
     Signale senden und weiterleiten: Ganglien- und Amakrinzellen . . . . . 120  
 Von den Augen zu den Sehzentren im Gehirn . . . . . 121  
     Reiseziel: Thalamus . . . . . 121  
     Andere Reiseziele . . . . . 124  
     Vom Thalamus zum Okzipitallappen . . . . . 125  
 Sehstörungen und optische Täuschungen . . . . . 127  
     Für mich sieht alles grau aus: Farbenblindheit . . . . . 127  
     Die Ursachen der Blindheit . . . . . 128  
     Optische Täuschungen . . . . . 129

<b>Kapitel 9</b>	
<b>Der Hörsinn</b> .....	<b>131</b>
Das Ohr: Schallwellen einfangen und entschlüsseln .....	131
Töne einfangen: Das Außenohr .....	132
Das Mittelohr .....	133
Die Töne kommen zum Gehirn: Das Innenohr .....	134
Den Geräuschen einen Sinn geben: Die Hörzentren im Gehirn .....	137
Stationen vor dem Thalamus .....	137
Endlich im Thalamus: Der Nucleus geniculatus medialis .....	138
Geräusche verarbeiten: Der obere Teil des Temporallappens .....	138
Die Verarbeitung komplexer auditiver Muster .....	139
Töne lokalisieren .....	141
Ich kann dich nicht hören: Gehörlosigkeit und Tinnitus .....	142
Der Hörverlust .....	142
Dieses ständige Pfeifen und Klingeln .....	142
<b>Kapitel 10</b>	
<b>Geruchs- und Geschmackssinn</b> .....	<b>145</b>
Wie riecht denn das? .....	146
Gerüche unterscheiden können .....	147
Der Geruch geht verschiedene Wege .....	147
Im Orbitofrontalkortex wird's jetzt speziell! .....	150
Lassen Sie es sich schmecken! .....	151
Geschmacksunterschiede: Die fünf Geschmacksrichtungen .....	152
Geschmacksinformationen an das Gehirn senden .....	154
Geschmäcker erkennen und sich daran erinnern .....	155
Lernen und Gedächtnis beim Geschmacks- und Geruchssinn .....	156
Den Geruch und Geschmack vermissen .....	157
Schlecht oder gar nicht mehr riechen können .....	157
Sättigung .....	157
<b>Kapitel 11</b>	
<b>Fühlen: Die Sinne der Haut</b> .....	<b>159</b>
Ein paar Fakten zur Haut und ihren sensorischen Neuronen .....	159
Der Aufbau der Haut .....	160
Berührung spüren: Die Mechanorezeptoren .....	161
Wie funktionieren Mechanorezeptoren? .....	162
Temperatur und Schmerz spüren .....	163
Raumlage und Bewegung erfassen: Die Tiefensensibilität .....	164
Hautrezeptoren, spinale Schaltkreise und die Verarbeitung im Gehirn .....	165
Signale somatosensorischer Rezeptoren .....	165
Empfindungen lokalisieren: Sensorische Areale auf der Hirnrinde .....	166
Den Schmerz verstehen .....	168
Schmerzen reduzieren .....	168
Die periphere Neuropathie .....	170
Chronische Schmerzen und individuelle Unterschiede in der Schmerzwahrnehmung .....	170

### TEIL III IMMER IN BEWEGUNG BLEIBEN: DAS MOTORISCHE NERVENSYSTEM ..... 173

#### **Kapitel 12 Die Grundlagen der Bewegung ..... 175**

Bewusste und unbewusste Bewegungen .....	175
Unbewusste Bewegungen steuern Körperfunktionen .....	176
Reflexbewegungen .....	176
Bewusst gesteuerte Bewegungen .....	176
Rückenmark und Leitungsbahnen .....	178
Der Fluchtreflex: Open-loop-Kontrolle .....	178
Die Position halten: Closed-loop-Kontrolle .....	179
Gegensätzliche Kräfte: Beuger-Strecker-Muskelpaare .....	179
Modulierende Reflexe: Bewegung und Gleichgewicht .....	180
Fehler korrigieren: Das Kleinhirn sorgt für Ordnung .....	182
Voll im Fokus: Das Kleinhirn .....	182
Die Körperhaltung während der Bewegung berechnen .....	183
Ein Blick auf die motorische Kontrolle in Kortex und Hirnstamm .....	184

#### **Kapitel 13 Handlungen planen und ausführen ..... 185**

Vom Reflex zur bewussten oder zielgerichteten Handlung .....	185
Die Aufgabe des Frontallappens .....	186
Signale vom primär motorischen Kortex zur Muskulatur .....	186
Ziele festlegen, wie Sie wohin gehen wollen! .....	187
Planen, Korrigieren, Lernen: Präfrontalkortex und subkortikale Areale .....	187
Das Arbeitsgedächtnis .....	188
Handlungen in Gang setzen: Die Basalganglien .....	188
Supplementär- und prämotorische Areale .....	190
Der prämotorische Kortex: Lernen, es richtig zu machen .....	190
Der supplementär motorische Kortex: Einfach davonsausen .....	190
Das Kleinhirn: Bewegungen lernen und koordinieren .....	191
Und nun alles zusammen .....	191

#### **Kapitel 14 Verletzungen und Erkrankungen des motorischen Systems ... 193**

Störungen der neuromuskulären Übertragung .....	193
Myasthenia gravis .....	193
Viruserkrankungen: Tollwut und Kinderlähmung .....	194
Rückenmarksverletzungen .....	194
Verletzungen und Degeneration spezifischer Neuronen-Populationen im Gehirn .....	195
Die Parkinson'sche Erkrankung .....	195
Chorea Huntington .....	196

## TEIL IV HÖHERE KOGNITIVE FUNKTIONEN: INTELLIGENZ, SOZIALE KOGNITION UND BEWUSSTSEIN..... 197

### Kapitel 15 Intelligenz ..... 199

Was ist Intelligenz? .....	200
Allgemeine, fluide und kristalline Intelligenz .....	201
Neurobiologische Perspektive der Intelligenz .....	204
Areale und funktionelle Netzwerke der Intelligenz .....	205
Plastizität und Erholung nach einer Hirnschädigung .....	206
Anlage und Umwelt .....	207

### Kapitel 16 Das exekutive Gehirn ..... 211

Gehirnareale der Exekutivfunktionen .....	212
Die Rolle des Präfrontalkortex beim zielgerichteten Handeln .....	213
Das Arbeitsgedächtnis .....	214
Der laterale Präfrontalkortex .....	214
Die Grenzen des Arbeitsgedächtnisses .....	215
Perseveration: Am Alten kleben, auch wenn es nicht mehr sinnvoll ist. ...	217
Entscheidungen treffen: Der Orbitofrontalkortex .....	218
Das Bauchgefühl: Erlernte emotionale Reaktionen .....	219
Risikofreudigkeit, Abneigung und Vergnügen .....	219
Kontrollzentrale des Handelns: Der Gyrus cinguli .....	219
Aufzeichnungsfehler und Veränderungstaktiken .....	220
Handeln, ohne zu denken .....	221
Probleme im anterioren cingulären Kortex .....	221

### Kapitel 17 Soziale Kognition, Emotionen und Empathie ..... 223

Die Rolle der Emotionen in sozialer Kognition und Intelligenz .....	224
Interagieren im sozialen Kontext und Gefühle verstehen .....	225
Sprache .....	226
Das Sprachzentrum im Gehirn .....	227
Emotionen in der Mimik und Körpersprache .....	228
Empathie .....	229
Gehirnareale der sozialen Kognition .....	230
Navigieren im sozialen Raum: Die Mission des orbitofrontalen Kortex. ...	230
Altes und Neues Hand in Hand .....	231
Neue (und mysteriöse) Neuronen entdecken .....	232

### Kapitel 18 Lernen und Gedächtnis ..... 235

Lernen und Gedächtnis: Eine Form der Anpassung an die Umwelt .....	235
Mehr oder weniger Signale senden: Anpassung und Verstärkung .....	236
Anpassung .....	236
Verstärkung .....	237

Komparative Neurowissenschaften: Gewöhnung und Sensibilisierung beim Seehasen .....	237
Was beim Lernen geschieht: Veränderliche Synapsen .....	238
Neuronale Verarbeitungsprozesse: UND- und ODER-Gatter .....	238
Die McCulloch-Pitts-Nervenzelle .....	239
Das Gehirn neu verkabeln: Der NMDA-Rezeptor .....	241
Die Rolle des Hippocampus für Lernen und Gedächtnis.....	243
Vom Kurz- zum Langzeitgedächtnis .....	243
Die Gedächtnis-Matrix des Hippocampus .....	244
Das Gedächtnis: Kortikale Mechanismen.....	246
Das episodische Gedächtnis.....	246
Gedächtnisverlust: Vergessen und Amnesie.....	247
Besser lernen können.....	248
Lernzeiten auf viele kürzere Abschnitte verteilen.....	249
Genug schlafen! .....	249
Bewegungsabläufe in Gedanken üben.....	249
Belohnen und bestrafen.....	249

**Kapitel 19  
Bewusstsein..... 251**

Erste psychologische Ansätze .....	252
Aktuelle Bewusstseinstheorien .....	253
Neurowissenschaftliche Erkenntnisse .....	254
Elektrophysiologische Techniken.....	255
Bildgebende Verfahren .....	255
Störungsexperimente .....	256
Computational Neuroscience.....	256
Bewusstseinsarten .....	257
Schlafen und Wachsein.....	258
Narkose und Bewusstsein .....	258
Hirnschädigung .....	259
Sprache und Bewusstsein.....	259
Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen.....	260
Unbewusste Verarbeitung: Rindenblindheit, visueller Neglect und andere Phänomene.....	262
Die Cocktail-Party-Situation .....	262
Rindenblindheit .....	262
Unterbewusste Wahrnehmung und Priming.....	263
Visueller Neglect.....	263

**Kapitel 20  
Wenn das Gehirn strauchelt: Ursachen, Auswirkungen und psychopharmakologische Therapiemöglichkeiten..... 265**

Ursachen und Auswirkungen neurologischer Dysfunktionen und Entwicklungsstörungen.....	265
Neurodegenerative Erkrankungen .....	265
Tumorerkrankungen .....	268
Vaskuläre Erkrankung .....	269

Genetische Erkrankungen.....	269
Entwicklungsstörungen.....	272
Psychische Erkrankungen mit Gene-Umwelt-Interaktion und Kombination.....	275
Psychopharmakologie: Vielversprechende Medikamente.....	279
Typische und atypische antipsychotische Medikamente.....	280
Medikamente, die GABA-Rezeptoren beeinflussen.....	280
Medikamente, die Serotonin beeinflussen.....	280
Medikamente, die den Dopaminstoffwechsel beeinflussen.....	281
Einige natürliche psychoaktive Substanzen.....	281

**TEIL V  
DER TOP-TEN-TEIL..... 283**

**Kapitel 21  
(Knapp) zehn Innovationen der Neurowissenschaften..... 285**

Gehirnverletzungen mit Stammzellen heilen.....	285
Krankheiten behandeln mit Nanobots.....	286
Tiefe Hirnstimulation zur Behandlung neurologischer Störungen.....	287
Motorische Neuroprothesen: Intrakranielle Brain-Computer-Interfaces gegen Lähmungen.....	288
Sensorische Neuroprothesen: Sinneswahrnehmungen werden wiederhergestellt.....	289
Wiederherstellung des Sehvermögens.....	289
Wiederherstellung des Hörvermögens.....	290
Rückmeldung vom Gehirn persönlich: Neurofeedback.....	290
Unsere Fähigkeiten optimieren: Das augmentierte Gehirn.....	291
Passive Brain-Computer-Interfaces und neuroadaptive Systeme: Unterstützung durch feinfühligere Technik.....	291

**Kapitel 22  
Zehn Tricks der Neuronen..... 293**

Das Problem mit der Größe lösen.....	293
Immer das meiste herausholen.....	294
Chemische Kommunikation der Neuronen.....	294
Spezialisiert für die Sinne.....	295
Signalverarbeitung durch Ionenkanalströme.....	295
Signalstärke über weite Entfernungen.....	296
Das Axon: Signale vom Kopf bis zum Fuß.....	296
Schneller durch Myelinscheiden.....	296
Das neuronale Gleichgewicht.....	297
Anpassen und Lernen durch die Veränderung der Synapsenstärke.....	298

**Abbildungsverzeichnis..... 299**

**Stichwortverzeichnis..... 303**