

Entwicklung und Bildung

in der Frühen Kindheit

Henning Rosenkötter

Motorik und Wahrnehmung im Kindesalter

Eine neuropädagogische Einführung



2., überarbeitete Auflage

Kohlhammer

Kohlhammer

Der Autor



Dr. med. Henning Rosenkötter ist Kinder- und Jugendarzt, Neuropädiater und Familientherapeut. Er war Ärztlicher Direktor des Sozialpädiatrischen Zentrums im Klinikum Ludwigsburg, hatte Lehraufträge für den Studiengang Frühkindliche und Elementarbildung an der Pädagogischen Hochschule in Heidelberg und der Evangelischen Hochschule in Freiburg.

Henning Rosenkötter

Motorik und Wahrnehmung im Kindesalter

Eine neuropädagogische Einführung

2., überarbeitete Auflage

Verlag W. Kohlhammer

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen und sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

Es konnten nicht alle Rechtsinhaber von Abbildungen ermittelt werden. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.

Dieses Werk enthält Hinweise/Links zu externen Websites Dritter, auf deren Inhalt der Verlag keinen Einfluss hat und die der Haftung der jeweiligen Seitenanbieter oder -betreiber unterliegen. Zum Zeitpunkt der Verlinkung wurden die externen Websites auf mögliche Rechtsverstöße überprüft und dabei keine Rechtsverletzung festgestellt. Ohne konkrete Hinweise auf eine solche Rechtsverletzung ist eine permanente inhaltliche Kontrolle der verlinkten Seiten nicht zumutbar. Sollten jedoch Rechtsverletzungen bekannt werden, werden die betroffenen externen Links soweit möglich unverzüglich entfernt.

2., überarbeitete Auflage 2021

Alle Rechte vorbehalten

© W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

Gesamtherstellung: W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

Print:

ISBN 978-3-17-036236-9

E-Book-Formate:

pdf: ISBN 978-3-17-036237-6

epub: ISBN 978-3-17-036238-3

mobi: ISBN 978-3-17-036239-0

Vorwort der Herausgeberin und der Herausgeber

Die Lehrbuchreihe »*Entwicklung und Bildung in der Frühen Kindheit*« will Studierenden und Fachkräften das notwendige Grundlagenwissen vermitteln, wie die Bildungsarbeit im Krippen- und Elementarbereich gestaltet werden kann. Die Lehrbücher schlagen eine Brücke zwischen dem aktuellen Stand der einschlägigen wissenschaftlichen Forschungen zu diesem Bereich und ihrer Anwendung in der pädagogischen Arbeit mit Kindern.

Die einzelnen Bände legen zum einen ihren Fokus auf einen ausgewählten Bildungsbereich, wie Kinder ihre sozio-emotionalen, sprachlichen, kognitiven, mathematischen oder motorischen Kompetenzen entwickeln. Hierbei ist der Leitgedanke darzustellen, wie die einzelnen Entwicklungsniveaus der Kinder und Bildungsimpulse der pädagogischen Einrichtungen ineinandergreifen und welche Bedeutung dabei den pädagogischen Fachkräften zukommt. Die Reihe enthält zum anderen Bände, die zentrale bereichsübergreifende Probleme der Bildungsarbeit behandeln, deren angemessene Bewältigung maßgeblich zum Gelingen beiträgt. Dazu zählen Fragen, wie pädagogische Fachkräfte ihre professionelle Responsivität den Kindern gegenüber entwickeln, wie sie Gruppen von Kindern stressfrei managen oder mit Multikulturalität, Integration und Inklusion umgehen können. Die einzelnen Bände bündeln fachübergreifend aktuelle Erkenntnisse aus den Bildungswissenschaften wie der Entwicklungspsychologie, Diagnostik sowie Früh- und Sonderpädagogik und bereiten für den Einsatz in der Aus- und Weiterbildung, aber ebenso für die pädagogische Arbeit vor Ort vor. Die Lehrbuchreihe richtet sich sowohl an Studierende, die sich in ihrem Studium mit der Entwicklung und institutionellen Erziehung von Kindern befassen, als auch an die pädagogischen Fachkräfte des Früh- und Elementarbereichs.

Im vorliegenden Band präsentiert der bekannte Kinderarzt und ehemalige Chefarzt des Sozialpädiatrischen Zentrums im Klinikum Ludwigsburg, Dr. Henning Rosenkötter, zentrales Grundlagenwissen für die Entwicklungsbereiche von Motorik und Wahrnehmung und deren Störungen und Diagnostik unter einer neuropädagogischen Perspektive. Dieses Wissen ist auch für die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Fachkräften aus Medizin und Therapie sinnvoll. Denn an Kitas wird heute der Anspruch gestellt, auch Kinder mit Beeinträchtigungen in den genannten Bereichen zu erkennen, ein abgestimmtes pädagogisches Angebot zu machen und auch fachkundige externe Unterstützung durch Experten zu vermitteln. Der Bogen des Buches ist weit gespannt. Er reicht von der Körper-, Hand- und Grafomotorik und ihren Störungsformen über die visuelle, auditive und taktil-kinästhetische Wahrnehmung und ihren Störungsformen bis hin zu den damit verknüpften Funktionen von Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Emotionen.

In der vorliegenden zweiten Auflage hat der Autor neue Erkenntnisse zu den einzelnen Bereichen integriert und die einzelnen Kapitel überarbeitet, um die komplexe Materie der Leserschaft verständlich zu machen. Dabei erleichtern zahlreiche Abbildungen den Nachvollzug der Inhalte.

Münster, Freiburg und Heidelberg im März 2021

Manfred Holodynski, Dorothee Gutknecht und Hermann Schöler

Inhalt

Vorwort der Herausgeberin und der Herausgeber	5
Einleitung	13
1 Vom Gehirn und vom Neuron	15
Zusammenfassung in Form eines Glossars	21
Weiterführende Literatur	22
2 Motorik	23
2.1 Das pyramidale System	24
2.2 Das extrapyramidale System und das Kleinhirn	25
2.3 Das spinale System	26
2.4 Zusammenfassung: Das motorische System	28
Weiterführende Literatur	28
3 Die Entwicklung der Körpermotorik	29
3.1 Motorische Entwicklung im 1. Lebensjahr	29
3.2 Motorische Entwicklung vom 2. bis 6. Lebensjahr	33
3.3 Diagnostik mit standardisierten und normierten Tests	35
3.4 Zusammenfassung	37
Weiterführende Literatur	37
4 Störungen der Körpermotorik	38
4.1 Medizinische Diagnostik	39
4.1.1 Kinderärztliche Untersuchung in den ersten Lebensjahren	39
4.1.2 Die ärztliche Untersuchung von Vorschulkindern	42
4.1.3 Merkmale einer motorischen Störung	43
4.2 Einteilung der motorischen Störungen	44
4.3 Umschriebene Entwicklungsstörung motorischer Funktionen (UEMF)	45
4.4 Schwere Störungen der motorischen Entwicklung	47
4.5 Behandlung körpermotorischer Störungen	49
4.6 Zusammenfassung	53
Weiterführende Literatur	53

5	Die Entwicklung der Handmotorik	54
5.1	Einführung	54
5.2	Untersuchung der Handbewegungen und ihrer Störungen ...	56
5.3	Maßnahmen bei Störungen der Handmotorik	59
	Weiterführende Literatur	60
6	Visuomotorik und Grafomotorik	61
6.1	Einführung	61
6.2	Sitz- und Stifthaltung	62
6.3	Entwicklung der Grafomotorik	63
6.4	Diagnostik	66
6.5	Förderung und Therapie	69
6.6	Zusammenfassung	72
	Weiterführende Literatur	72
7	Lateralisation und Händigkeit	74
7.1	Evolution und Händigkeit	75
7.2	Geschlecht und Lateralisation	76
7.3	Genetik und Lateralisation	77
7.4	Die Entwicklung der Händigkeit	78
7.5	Diagnostik	80
	7.5.1 Händigkeit	80
	7.5.2 Füßigkeit, Ohrigkeit, Äugigkeit	81
	7.5.3 Lateralisation und Sprache, Lesen, Schreiben	81
7.6	Förderung und Therapie	82
7.7	Zusammenfassung	83
	Weiterführende Literatur	84
8	Wahrnehmung, Kognition, Intelligenz und Lernen	85
8.1	Wahrnehmung	85
8.2	Lernen	88
	Habituation, Sensitivierung und assoziatives Lernen	88
	8.2.1 Lernen und Reifung	90
	8.2.2 Die zeitliche Informationsverarbeitung und das Erleben von Zeit	92
	8.2.3 Die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung ...	94
8.3	Kognition	95
8.4	Intelligenz	95
8.5	Untersuchungsverfahren	97
	8.5.1 Entwicklungstests	98
	8.5.2 Intelligenztests	100
	8.5.3 Sprachfreie Intelligenztests	101
8.6	Zusammenfassung	102
	Weiterführende Literatur	103

9	Sehen und visuelle Wahrnehmung	104
9.1	Einführung	104
9.2	Funktionen der visuellen Wahrnehmung	106
9.3	Das Sehen	107
9.4	Störung der visuellen Wahrnehmung	111
9.5	Diagnostik	112
9.6	Förderung und Therapie	114
9.7	Visuelle Wahrnehmung und Schwierigkeiten beim Lesen und Schreiben	116
9.8	Rechenschwäche (Dyskalkulie)	118
9.9	Zusammenfassung	121
	Weiterführende Literatur	122
10	Hören, auditive Wahrnehmung und Sprache	123
10.1	Das Hören	123
10.1.1	Zur Physiologie des Hörens	123
10.1.2	Töne und Lautstärke	128
10.1.3	Höruntersuchung	129
10.1.4	Hörstörungen	130
10.2	Auditive Wahrnehmung	131
10.2.1	Funktionen der auditiven Wahrnehmung	131
10.2.2	Störungen der auditiven Wahrnehmung	133
10.2.3	Ursachen für eine auditive Wahrnehmungsstörung ...	133
10.2.4	Symptome einer auditiven Wahrnehmungsstörung ...	134
10.2.5	Förderung und Therapie	135
10.3	Auditive Wahrnehmung und Sprache	138
10.3.1	Die Entwicklung der Prosodie	138
10.3.2	Lauterkennung	140
10.3.3	Die normale Sprachentwicklung	142
10.3.4	Die verzögerte und die gestörte Sprachentwicklung ...	145
10.3.5	Frühe Sprachförderung	146
10.4	Prävention	149
10.4.1	Die phonologische Bewusstheit: Eine Vorläuferfähigkeit	149
10.4.2	Prävention von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten ...	150
10.5	Lese-Rechtschreibstörung	152
10.6	Zusammenfassung	155
	Weiterführende Literatur	156
10.7	Lärm und Geräuschempfindlichkeit	157
10.7.1	Lärm	157
10.7.2	Lärmschädigung und Innenohr	157
10.7.3	Lärm in der Umwelt	158
10.7.4	Lärm in der Kita	158
10.7.5	Was kann man gegen Lärmbelastigungen tun?	159
10.7.6	Geräuschüberempfindlichkeit (Hyperakusis)	159

	10.7.7 Zusammenfassung	161
	Weiterführende Literatur	161
11	Taktil-kinästhetische Wahrnehmung	162
	11.1 Wahrnehmungssysteme	162
	11.2 Rezeptoren	163
	11.3 Funktionen der taktil-kinästhetischen Wahrnehmung	168
	11.4 Taktil-kinästhetische Wahrnehmungsstörungen	168
	11.5 Zusammenfassung	171
	Weiterführende Literatur	172
12	Gleichgewicht	173
	12.1 Funktionen der vestibulären Wahrnehmung	174
	12.2 Förderung und Therapie	175
13	Gedächtnis	177
	13.1 Langzeitgedächtnis	177
	13.2 Arbeitsgedächtnis	180
	13.3 Diagnostik von Gedächtnisleistungen	183
	13.4 Symptomatik von Gedächtnisproblemen	184
	13.5 Förderung und Therapie	185
	13.6 Zusammenfassung	186
	Weiterführende Literatur	187
14	Aufmerksamkeit	188
	14.1 Symptomatik und Diagnostik der Aufmerksamkeitsstörung	189
	14.2 Differentialdiagnose und Komorbidität	193
	14.3 Ursachen der Aufmerksamkeitsstörung	194
	14.4 Aufmerksamkeit und Medien	196
	14.5 Therapie von Aufmerksamkeitsstörungen	197
	14.6 Therapie mit Medikamenten	199
	14.7 Zusammenfassung	200
	Weiterführende Literatur	200
15	Das »Ich«, Emotionen und ihre neuronale Verankerung im Gehirn	201
	15.1 Emotionen	202
	15.2 Mandelkerne und Angst	202
	15.3 Limbisches System und Emotionen	205
	15.4 Spiegelneurone und Empathie	205
	15.5 Neurotransmitter und emotionale Informationsverarbeitung	206
	15.6 Angst und Trauma	209
	15.7 Stresserleben und Epigenetik	210

15.8	Emotion und Lernen	210
15.9	Zusammenfassung	212
	Weiterführende Literatur	213
	Literatur	214

Einleitung

Bislang weiß kein Mensch genau, was Neuropädagogik ist. Diejenigen, die darüber sprechen und schreiben, halten es meist für eine moderne Form der Pädagogik, welche die Erkenntnisse der Neurowissenschaften integriert. Warum könnte es nicht auch eine Form der Nervenheilkunde sein, die an Ergebnissen der Pädagogik interessiert ist? Immerhin soll der Begriff in den 1970er Jahren von dem Ehepaar Gobiet für eine Frühförderung in der Rehabilitation von Schädel-Hirn-Verletzten »erfunden« worden sein. In den 1990er Jahren wurde er von dem Neuropsychologen und Neurochirurgen A. Klinger und dem Neurochirurgen und Rehabilitationsmediziner A. Zieger zu einem Konzept der Frührehabilitation erweitert.

Die Entwicklungsbiologin A. K. Braun stellt in Magdeburg Überlegungen zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung »Neuro-Pädagogik« an. Begründet die Einrichtung eines »Transferzentrums für Neurowissenschaften und Lernen« in Ulm die gelegentlich besserwisserische Einmischung der Medizin in die Pädagogik? Wird hier nicht suggeriert, die Medizin könne endlich den Schlüssel zur Bildungsdebatte liefern: Was Pädagogen dringend bräuchten, um den PISA-Schock zu überwinden? Wenn nun die Erklärung für Aufmerksamkeitsstörungen, Gedächtnislücken, Aggressivität im Kindergarten oder gleich das ganze Körper-Seele-Problem mit der Durchblutung des Nucleus accumbens, der Zelldichte des Hippocampus und der Funktion der Spiegelneurone erklärt werden könnten, wäre die Pädagogik unter dem Dach der Neurowissenschaften gut aufgehoben. Da wundern kritische Überlegungen nicht, auch nicht die Fragen »Wie viel Neuro braucht die Schule wirklich?« oder »Wo ist denn da die gleiche Augenhöhe?«

In dem Wort »Neuropädagogik« – wie auch in anderen zusammengesetzten Wissenschaftsgebieten wie z. B. Neurophysiologie, Entwicklungsneurobiologie, Neurogenetik, Neuropsychologie – steckt auch der Wunsch, Fachrichtungen, die bislang wenig miteinander anfangen konnten, zu beider Nutzen interdisziplinär und fachübergreifend kooperieren zu sehen. Nach vielen Jahren, in denen immer stärker spezialisierte Fachdisziplinen in traditioneller Weise Wissen vertieft und vervielfältigt haben, scheint für viele der Zeitpunkt gekommen zu sein, den Kopf über den Tellerrand erhebend nach anderen zu suchen, die gleichfalls in der eigenen Suppe siedeln. Sie bereichert Methoden- und Interpretationsvielfalt. Das Wissen aus der Pädagogik bereichert somit nicht nur den Neurowissenschaftler und das Wissen aus der Neurologie bereichert nicht nur den Pädagogen, sondern das breitere und multiplizierte Wissen beider Fachbereiche dient dem zu fördernden Kind, dient dem kranken Patienten und dient der Gesellschaft.

Als Mediziner versuche ich, den Teil der Neurowissenschaften zu erklären, von dem ich mir vorstellen kann, dass er für Pädagogen, namentlich Frühpädagogen,

hilfreich sein könnte: zur Erklärung, zum Verstehen, beim Suchen nach alternativen Lehrmethoden, auf der Suche nach Auswegen und zur Ermutigung für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Wie viel davon und wie es für Sie nutzbringend sein wird, bleibt Ihnen überlassen. Durch den theoretischen Berg von Griesbrei muss man sich auch in anderen Disziplinen füttern, um bei den herzhaften Gerichten anzukommen. Ganz wird man die Theorie jedoch nicht vermeiden können, wenn man die Erklärung für Konzepte und Therapien sucht. Hoffentlich werden Sie viel für sich mitnehmen und hoffentlich werden dann Ihre Erkenntnisse oder Widersprüche irgendwie zu mir zurückkehren, damit ich am Ende auch mehr von Pädagogik weiß. Schließlich hoffe ich gar, dass dieses Buch auch einigen medizinischen Therapeuten (Physiotherapie, Ergotherapie, Logopädie) und Therapeuten angrenzender Berufe hilfreich sein kann.

Henning Rosenkötter

Anmerkung: Der besseren Lesbarkeit halber spreche ich von Pädagoginnen, pädagogischen Fachkräften und Erzieherinnen. Männliche Kollegen sind natürlich ebenfalls gemeint. Wenn ich von Pädagogen, Ärzten und Psychologen spreche, meine ich auch Pädagoginnen, Ärztinnen und Psychologinnen.

1 Vom Gehirn und vom Neuron

Das menschliche Gehirn besteht aus etwa 100 Milliarden Nervenzellen (*Neurone*), die durch etwa 100 Billionen Kontaktstellen (*Synapsen*) miteinander in Verbindung stehen. Unter dem Begriff *Zentralnervensystem* (ZNS) werden das Gehirn und das Rückenmark zusammengefasst. Als peripheres Nervensystem werden alle Anteile außerhalb des ZNS bezeichnet: vor allem die motorischen Nerven, die das Rückenmark verlassen, und die sensiblen Nerven, die vom Gewebe zum Rückenmark kommen, und auch das vegetative Nervensystem. Der *Kortex*, die Rinde des Großhirns, ist 2–5 mm dick und so stark gefaltet, dass seine Oberfläche 1800 Quadratmeter einnimmt. Diese dichte Zellschicht wird die graue Substanz genannt, während die zu- und wegführenden Nervenfasern die weiße Substanz bilden. Die Nervenfasern verbinden die Hirnzentren miteinander, oder sie verlassen das Gehirn in dichten Bündeln zum Rückenmark hin, von wo sie ihre Signale als motorische Nerven zu den Muskeln (*efferente* Nerven) leiten, oder dem Gehirn als sensible Nerven Informationen aus der Peripherie (*afferente* Nerven) bringen.

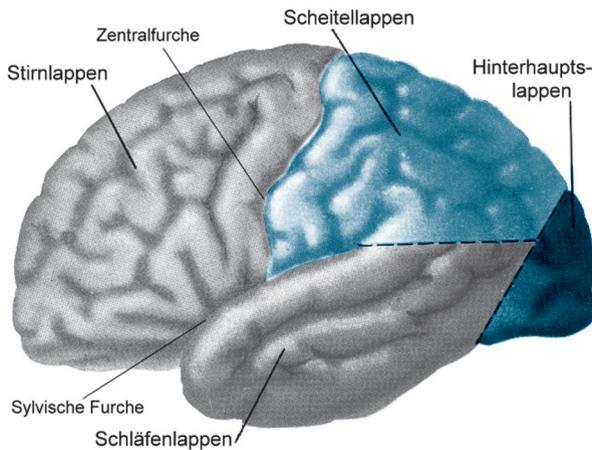


Abb. 1.1: Die Lappen des Großhirns und zwei wichtige Hirnfurchen

Den größten Raum im ZNS nimmt das Großhirn ein. Es besteht aus einer linken und einer rechten Großhirnhemisphäre. Beide sind durch ein breites Faserbündel, den Balken (*Corpus callosum*), miteinander verbunden. Sie werden in jeweils vier Lappen

unterteilt (► Abb. 1.1): Stirnlappen (*Frontallappen*), Scheitellappen (*Parietallappen*), Schläfenlappen (*Temporallappen*) und Hinterhauptslappen (*Okzipitallappen*). Das Stirnhirn und der Scheitellappen sind durch eine tiefe Furche, die Zentralfurche (*Sulcus centralis*) voneinander getrennt. Jeder Lappen hat seine eigenen Windungen und Furchen. So liegt die vordere Zentralwindung (*Gyrus präzentralis*) vor, die hintere Zentralwindung (*Gyrus postzentralis*) hinter der Zentralfurche. Die *Sylvische Furche* trennt den Stirnlappen vom Schläfenlappen.

Zwischen den Großhirnhemisphären und um den dritten Hirnrinnenraum (*Ventrikel*) herum liegt das Zwischenhirn. Es besteht aus dem *Thalamus*, dem darunter liegenden *Hypothalamus* und der kleinen, hormonbildenden *Hypophyse*. Der Thalamus ist eine außerordentlich wichtige Sammel- und Umschaltstelle. Außer der Riechbahn werden dort alle ankommenden Informationen (sensorisch, optisch, akustisch) von der einen Nervenbahn auf mehrere andere verteilt. Solche Umschaltzentren werden im Gehirn auch häufig Kern (*Nucleus*) genannt. Für das Sehen und das Hören gibt es im Thalamus Umschaltstationen, die dem Thalamus wie kleine Vorwölbungen aufgesetzt sind, die so genannten *Knieföcker*. Aber auch alle ausgehenden Signale wie z. B. die motorischen Befehle werden im Thalamus umgeschaltet. Der Thalamus ist daher das unter der Rinde liegende Tor zum Kortex des Großhirns. Im Hypothalamus werden wichtige unbewusste Regulationen gesteuert: der Wasserhaushalt, die Temperaturregulation, die Nahrungsaufnahme.

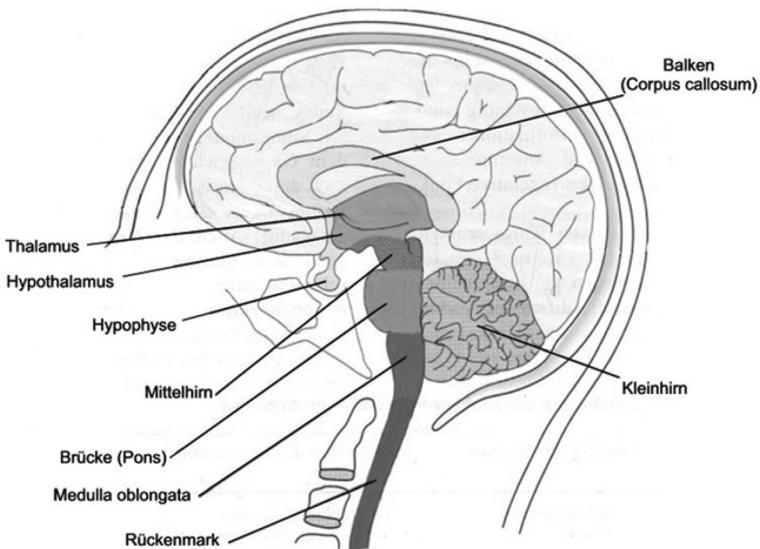


Abb. 1.2: Zwischenhirn, Mittelhirn, Hirnstamm, Kleinhirn

Das Mittelhirn ist ein kleiner Gehirnteil, der das Zwischenhirn und die Brücke (*Pons*) miteinander verbindet. Brücke und das darauf sitzende Kleinhirn (*Zerebellum*) bilden zusammen eine funktionelle Einheit (► Abb. 1.2). Das Kleinhirn übernimmt Auf-

gaben in der Feinsteuerung der Motorik und in der Seh- und Hörwahrnehmung. Seine Fältelung und seine Zellstruktur sind besonders fein differenziert und dicht. Die Oberfläche des Kleinhirns erreicht eine erstaunliche Größe: Sie entspricht 75 % der Oberfläche des Großhirns.

Unterhalb des Zwischenhirns liegt der *Hirnstamm*. Dazu gehören das Mittelhirn, die Brücke und das verlängertes Rückenmark (*Medulla oblongata*). (Der Begriff *Stammhirn* bezeichnet den Hirnstamm und zusätzlich noch das Zwischenhirn.). Im Hirnstamm verlaufen nicht nur auf- und absteigende Bahnen, sondern er ist auch der Sitz zahlreicher Hirnnervenkerne. Als Hirnnerven werden diejenigen Nerven bezeichnet, die nicht aus dem Rückenmark entspringen, sondern direkt aus dem Gehirn kommen. Sie verlassen den knöchernen Schutz des Gehirns an verschiedenen Stellen des Schädels und versorgen überwiegend die Organe des Kopfes. Die Hirnnervenkerne III, IV und VI steuern die Bewegungen der Augäpfel, der Hirnnervenkerne VII (*Fazialisnerv*) ist für die Steuerung der Mimik wichtig und der VIII. Hirnnerv sammelt die Informationen vom Innenohr und vom Gleichgewichtsorgan. Nur der X. Nerv, der sogenannte Vagusnerv, zieht eine längere Bahn: Er ist ein Hauptnerv des vegetativen Nervensystems und steuert die Tätigkeit vieler innerer Organe.

Abbildung 1.3 zeigt die Mitte des Gehirns in einer mittleren Schnittebene, gewonnen mit einer Untersuchung, die Kernspintomographie oder Magnetresonanztomographie (*MRT*) genannt wird. Das MRT ist ein bildgebendes Verfahren, das eine Darstellung der Struktur des Gewebes erlaubt. Das Bild zeigt auch die Gürtelwindung (*Gyrus cinguli*) oberhalb des Balkens, die zum limbischen System gehört (► Abb. 1.3).

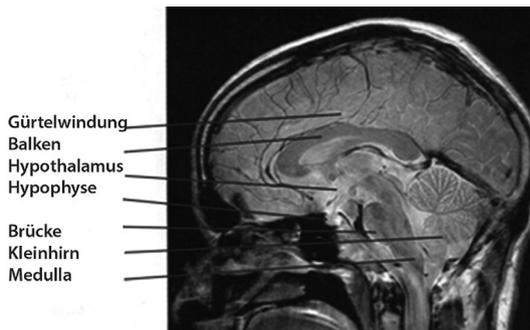


Abb. 1.3: Mittelschnitt durch das Gehirn in der Magnetresonanztomographie (MRT)

Ein anderes wichtiges Kernsystem befindet sich im Hirnstamm: die *Formatio reticularis*. Der Name (»netzartige Bildung«) rührt aus der diffus und maschenartig miteinander verbundenen Struktur, die wie ein Netz von vielen Kerngebieten wirkt und Anschluss an den Thalamus und an das Rückenmark hat. Die *Formatio reticularis* ist für zahlreiche unbewusste Funktionen verantwortlich: Kreislauf und Atemzentrum, Brechzentrum, Schmerz, Emotionen, Harnblasensteuerung, Anteile der Be-

wegungssteuerung und über den *Nucleus accumbens* und den *Nucleus ruber* Anteile der Aufmerksamkeitssteuerung.

Nach diesem Blick auf das Gehirn von außen wenden wir uns nun der *Feinstruktur des ZNS* zu. Beginnen wir mit der Funktion der Nervenzellen, den *Neuronen* (► Abb. 1.4). Sie erfassen und verarbeiten alle Informationen, die das Gehirn erhält, und sie können gleichzeitig senden und empfangen. Das eingehende Signal kommt entweder über ankommende (afferente) Nervenfasern anderer Neurone oder durch eigene Fasern, die *Dendriten*. Die Verbindungsstellen (*Synapsen*) mit anderen Nervenzellen kontaktieren mit ihnen direkt am Zellkörper oder über Synapsen, die auf den Dendriten liegen. Bei manchen Nervenzellen gibt es eine besonders starke und lange auslaufende Faser: das *Axon*. Eine Erregung im Neuron wandert besonders schnell über das Axon, weil es über Abschnitte verfügt, die Markscheiden genannt werden. Diese Markscheiden-Abschnitte haben Verengungen und Einschnürungen, die *Schnürringe*.

Markscheiden bestehen aus *Myelin*-Lamellen, die von speziellen Zellen gebildet werden und sich wie Spiralen um die Axone winden. Myelin heißt Mark und ist eine gewundene Membran. Solche markumwickelten Axone können die Erregung schneller leiten als marklose Fasern. Die hohe Übertragungsgeschwindigkeit der markhaltigen (myelinisierten) Fasern kommt dadurch zustande, dass das Myelin wie eine Isolationsschicht wirkt. Dadurch wird die Veränderung der elektrischen Ladung nicht kontinuierlich fortgeleitet, sondern sie springt von einem nicht markumlagerten Schnürring zum nächsten. Myelin bildet sich in der ganzen Kindheit und Jugend und ist der Grund dafür, dass die Erregungsübertragung mit zunehmendem Alter immer schneller wird und das Volumen des Gehirns noch ständig zunimmt, obwohl ab der Geburt keine neuen Neurone mehr gebildet werden.

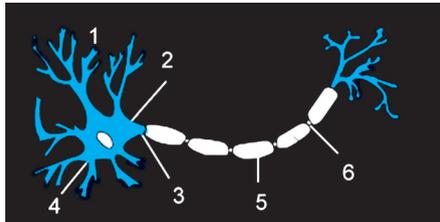


Abb. 1.4: Ein Neuron (1: Dendriten (blau), 2: Zellkörper, 3: Axon, 4: Zellkern, 5: Myelinscheide (weiß), 6: Schnürring)

Die Fortleitung von Signalen im Neuron beruht auf chemischen und elektrischen Vorgängen. Zwischen dem Inneren der Nervenzelle und der Umgebung besteht ein elektrisches Spannungsgefälle, ein *elektrisches Potenzial*. Diese Spannung kann an der Zellmembran fein abgestuft werden, je nach der Stärke der Erregung des Neurons. Diese wiederum wird von der Stärke der eingehenden Signale bestimmt. Überschreitet das Potenzial an den ausgehenden (efferenten) Fasern eine bestimmte Schwelle, wird plötzlich ein Aktionspotenzial ausgelöst. Die Auslösung folgt dem Alles-oder-Nichts-Prinzip, d. h. entweder ist die Erregung überschwellig und das

Potenzial wird ausgelöst oder es wird nicht ausgelöst. Es gibt nur Null (Ruhe) oder Eins (Erregung). Das *Aktionspotenzial* breitet sich mit großer Geschwindigkeit in den auslaufenden Fasern aus.

Den elektrischen Ruhezustand eines Neurons nennt man *Ruhepotenzial*. Damit ist gemeint, dass die Zellmembran eine Spannung aufrechterhält, indem ständig durch eine chemische Reaktion Natrium aus der Zelle herausgepumpt und Kalium hineingelassen wird. Diese Natrium-Kalium-Pumpe führt an der Zellmembran zu einem Spannungsungleichgewicht, eben dem Ruhepotenzial. In der Membranwand gibt es Kanäle für *Ionen*, durch die bei einer bestimmten Spannung zwischen dem Inneren der Zelle und dem Zellaußenraum schlagartig innerhalb einer Millisekunde Natriumionen in das Zellinnere einströmen. Das Ruhepotenzial, eine im Zellinneren negative Ladung, kehrt sich nun plötzlich in eine positive Ladung um. Diesen Potenzialumschwung nennt man ein *Aktionspotenzial*. Es kann über das Axon an andere Zellen fortgeleitet werden. Das Aktionspotenzial besteht aus einem Entladungsanteil (*Depolarisation*) und einer kurzen Phase, in der der Natriumeinstrom nach einer Millisekunde abgestoppt und Kalium ausgeschleust wird (*Repolarisation*), um den ursprünglichen Ruhezustand wiederherzustellen. Nach Ablauf des Aktionspotenzials ist das Neuron für 1–2 Millisekunden nicht wieder erregbar (*Refraktärzeit*). Von außen kommende Reize können zwar aufgenommen werden, aber sie führen nicht zu einem neuen Aktionspotenzial.

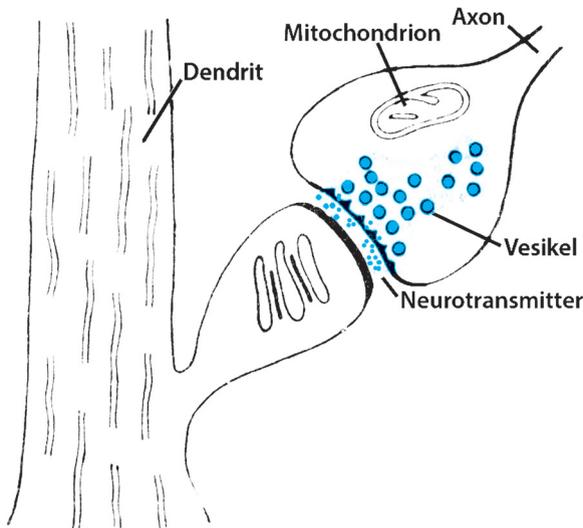


Abb. 1.5: Struktur einer Synapse zwischen Axon und Dendrit

Wenn die Erregung mit einem Aktionspotenzial über ein Axon läuft, wird sie über viele knospenartige Ausläufer (Synapsen) an benachbarte Zellkörper und deren Dendriten weitergegeben. In diesen Synapsenknöpfchen gibt es Bläschen, die prall mit Botenstoffen (*Neurotransmittern*) gefüllt sind. Ihnen gegenüber liegt an der

Synapse des benachbarten Zellkörpers oder Dendriten eine Empfangsmembran. Kommt nun das Aktionspotenzial an die Synapse, werden die Neurotransmitter innerhalb von einer Millisekunde aus den Bläschen entlassen und durch die Synapsenmembran in den Zwischenraum zwischen Synapse und Empfangsmembran (*postsynaptische* Membran) geschickt (► Abb. 1.5). Den Synapsenspalt überschreiten sie und gelangen an der Empfangsmembran auf spezielle Rezeptoren, die spezifisch immer nur einen bestimmten Botenstoff binden. Die Bindung der Botenstoffe an die Rezeptoren löst in der Nachbarzelle wieder einen Spannungsunterschied aus. Je nach Art des Neurotransmitters und je nach Art des Rezeptors wirkt dieses Potenzial an der Nachbarzelle erregend oder hemmend.

Das einzelne Neuron kann also nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip erregt werden und eine Erregung aussenden oder nicht. Wie kann es dann eine Abstufung der Erregung geben? Es gibt zwei Antworten: Zum einen wirkt sich die Stärke des Reizes auf die Anzahl der Aktionspotenziale pro Zeiteinheit aus. Die andere Antwort ergibt sich, wenn man eine Gruppe von Neuronen betrachtet: Manchmal überwiegen die hemmenden, manchmal die erregenden Impulse. Die Modulation einer Information geschieht durch die Summe von erregenden und hemmenden Einflüssen. Die Feinjustierung ist also in der Zusammenarbeit von funktionell kooperierenden Neuronen möglich.

Eine Sonderform einer synaptischen Verbindung ist die Verbindung zwischen einem Axon und einer Muskelzelle: Die Stelle, an der eine Synapse auf eine Muskelfaser trifft, nennt man die *motorische Endplatte*. Das ankommende Axon bildet einen synaptischen Endkolben, der viele kleine Energie liefernde Zellorganellen (*Mitochondrien*) und Bläschen (*Vesikel*) enthält (► Abb. 1.6).

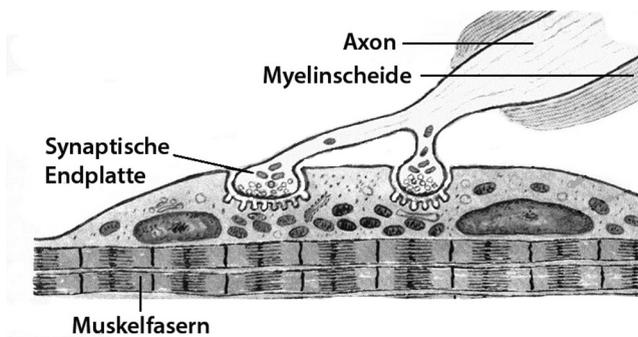


Abb. 1.6: Motorische Endplatte: eine Synapse an der Muskelfaser

Die Vesikel sind vollgestopft mit dem Neurotransmitter *Acetylcholin*. Kommen Aktionspotenziale über das zuleitende Axon an, so öffnen sich Kalziumionenkanäle. Die acetylcholinhaltigen Bläschen entleeren sich an der Zellmembran in den synaptischen Spalt. Das freigesetzte Acetylcholin bindet sich an die Rezeptoren der Muskelfaser-Endplatte. Dies ist das Signal zur Kontraktion der darunter liegenden Muskelfaser. Die Größe einer motorischen Einheit entscheidet, wie viele Skelettmuskelfasern sich gleichzeitig zusammenziehen.

Zusammenfassung in Form eines Glossars

1. Makroskopie

Aufbau des Zentralnervensystems

Großhirn und Zwischenhirn: Das Großhirn wird beidseits in vier Lappen eingeteilt: Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptslappen. Die Hirnwindungen (Gyri) haben eine symmetrische Architektur. Von den trennenden Rinnen (Sulci) sind zur Orientierung besonders die Zentralfurche und die Sylvische Furche wichtig. Das darunterliegende Zwischenhirn besteht aus dem Thalamus, dem Hypothalamus und der Hypophyse.

Brücke und Kleinhirn: Die Brücke (Pons) und das Kleinhirn (Zerebellum) bilden eine funktionelle Einheit. Das Kleinhirn ist in sehr feine Falten gegliedert und hat annähernd so viele Neuronen wie das Großhirn. Die Großhirnschenkel und der dicke Beginn des Rückenmarks (Medulla oblongata) bilden den Hirnstamm. Dort verlaufen auf- und absteigende Bahnen und entspringen die Hirnnerven. Dies sind Nerven, die direkt aus dem Gehirn kommen.

Kern: Als Kern (Nukleus) bezeichnet man dichte Ansammlungen von Neuronen, die als Umschaltstelle und Verbindung zwischen verschiedenen Hirnzentren dienen. Das netzartige Kerngebiet der Formatio reticularis hat vielfältige unbewusste Funktionen: Steuerung von Kreislauf und Atmung, Schmerz, Emotionen, Harnblasensteuerung, Anteile der Bewegungssteuerung und der Aufmerksamkeitssteuerung.

2. Mikroskopie

Aufbau des Neurons

1. Nervenzellkörper
2. Ausläufer:

Dendrit: kurz und verzweigt; zuführende Fortsätze nehmen die ankommende Erregung auf und leiten sie zum Nervenzellkörper. Axon: wegführender Fortsatz, leitet die Erregung vom Nervenzellkörper fort; entspringt im Zellleib und zieht als Fortsatz zu anderen Nervenzellen oder zu einem Muskel

Synapse: Umschaltstelle für die Erregungsübertragung von einer Nervenzelle auf eine zweite oder von einer Nervenzelle auf ein Erfolgsorgan. Die Erregungsübertragung erfolgt durch chemische Überträgerstoffe (Transmitter)

Markscheidenzellen: Zellen, die Mark (Myelin) bilden

Schnürring: Einschnürung zwischen zwei Markscheidenzellen

Leitungsrichtung von Nervenfasern:

1. afferent: von der Peripherie zum Gehirn und Rückenmark, z. B. sensible Nervenfasern, die Reize von einem Sinnesorgan an das ZNS vermitteln
2. efferent: vom ZNS zum peripheren Nervensystem

Alles-oder-nichts-Gesetz: Als Antwort auf einen Reiz kommt entweder ein vollständiges oder gar kein Aktionspotenzial. Ausschlaggebend ist, ob der Reiz über dem Schwellenwert liegt. Nach einer Reizung bleibt der Nerv für eine bestimmte Zeit unerregbar (refraktär). Die Stärke des Reizes wirkt sich auf die Anzahl der Aktionspotenziale pro Zeiteinheit aus. Neuronengruppen können die Stärke einer Reizantwort über die Zahl der erregenden oder hemmenden Synapsen modulieren.

Der periphere Nerv: In einem peripheren Nerv laufen mehrere Nervenfasern, die von Markscheiden umhüllt sind. Er enthält afferente und efferente Nervenfasern, teilt sich mehrfach auf oder vereinigt sich mit anderen Nerven. Die über die Schnürringe springende Erregung pflanzt sich schneller fort als bei marklosen Axonen, an denen die Erregung kontinuierlich entlangläuft.

Weiterführende Literatur

- Carter, R. (2019). *Das Gehirn*. München: Dorling Kindersley.
Faller, A. & Schünke, G. (2016). *Der Körper des Menschen*. Stuttgart: Thieme.
Huch, R. & Jürgens, K. (2019). *Mensch, Körper, Krankheit*. München: Urban & Fischer.