

## Einleitung

Bislang weiß kein Mensch genau, was Neuropädagogik ist. Diejenigen, die darüber sprechen und schreiben, halten es meist für eine moderne Form der Pädagogik, die 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 „NeuroPädagogik“ 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 Pisaschock 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 ganze 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. Eine tellerübergreifende Sichtweise passt wohl auch in die Zeit der Globalisierung. 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.

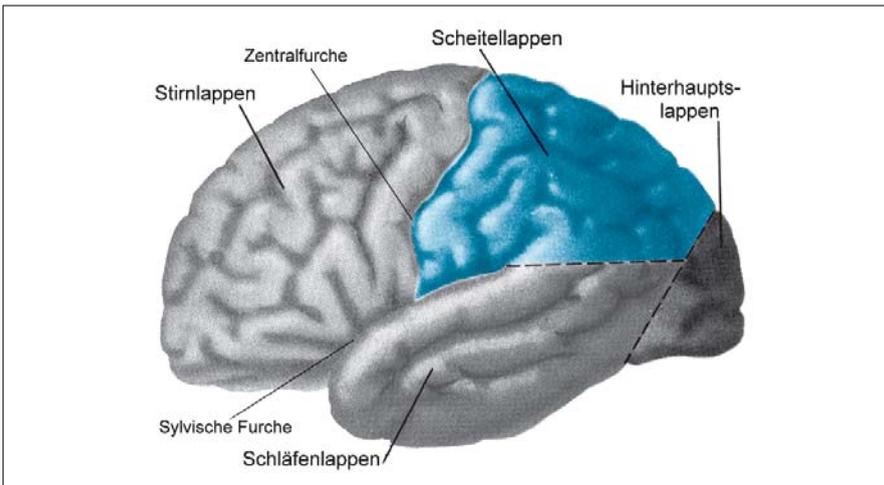
Also wage ich diesen (Unter-)Titel, obwohl ich weiß, dass es folglich kein gutes Buch über Neuropädagogik gibt, wenn nicht mindestens zwei Autoren, einer von jeder Seite, daran geschrieben hätten. Da ich selbst Mediziner bin, wird dies ein medizinlastiges Buch über Neuropädagogik sein. Hätte es ein Pädagoge geschrie-

ben, wäre es Pädagogik-zentriert. Lassen Sie es uns anders betrachten: 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 futtern, um bei den herzhaften Gerichten anzukommen. Falls Sie aber Vermeidungsstrategien lieben oder dazu tendieren, den „Spiegel“ von hinten nach vorne zu lesen, können Sie auch um den Berg herumgehen oder erst die Rosinen suchen, bevor Sie mit den eher theoretisch geprägten ersten Kapiteln beginnen. 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. Über Ihre Verbesserungs- oder Ergänzungsvorschläge würde ich mich freuen. Senden Sie mir doch eine Mail an [henning.rosenkoetter@t-online.de](mailto:henning.rosenkoetter@t-online.de). Und nun: Viel Spaß bei der Lektüre.

*Henning Rosenkötter*

# 1 Vom Gehirn und vom Neuron

Geschätzt 100 Milliarden Nervenzellen (Neurone) beherbergt das Nervensystem des Menschen. Im Gehirn haben sie eine Dichte von 100 000 Neuronen pro Quadratmillimeter. 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, aber auch das vegetative Nervensystem. Der Kortex, die Rinde des Großhirns, ist 2–5 mm dick und so stark gefaltet, dass seine Oberfläche 1800 Quadratzentimeter 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 z.B. als motorische Nerven zu den Muskeln (effere Nerven) leiten, oder dem Gehirn als sensible Nerven Informationen aus der Peripherie (afferente Nerven) bringen.

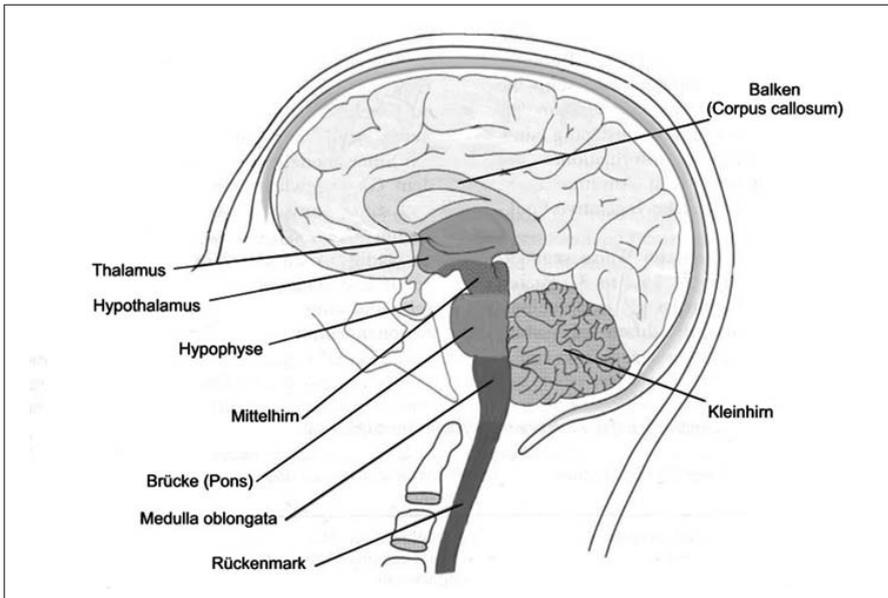


**Abbildung 1.1:** Die Lappen des Großhirns

Ein bisschen anatomische Beschreibung des Nervensystems muss sein, damit die nachfolgenden Ausführungen eine gute Grundlage haben. Also: 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 (s. 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. Die dicht zusammenliegenden Zellkerne wirken, wenn sie unter einem Mikroskop betrachtet werden, wie eng zusammengepackte Körner. Solche Umschaltzentren werden im Gehirn auch häufig „Nucleus“ genannt, die lateinische Bezeichnung für Kern. Für das Sehen und das Hören gibt es im Thalamus Umschaltstationen, die dem Thalamus wie kleine Vorwölbungen aufgesetzt sind, die so genannten Kniehöcker. 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.



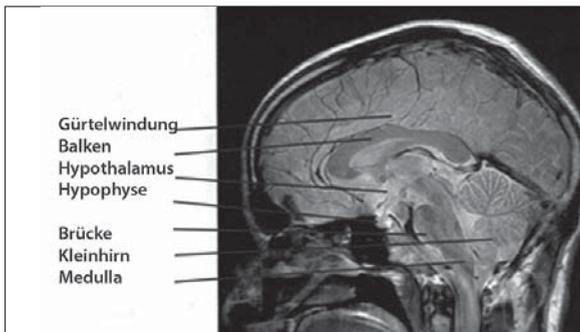
**Abbildung 1.2:** Zwischenhirn, Mittelhirn, Hirnstamm, Kleinhirn

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

Kleinhirn übernimmt Aufgaben in der Feinsteuerung der Motorik und in der Seh- und Hörwahrnehmung. Seine funktionelle Vielfalt darf nicht unterschätzt werden. Seine Fältelung und seine Zellstruktur sind besonders fein differenziert und dicht. Daher erreicht die Oberfläche des Kleinhirns eine erstaunliche Größe: Sie entspricht 75 % der Oberfläche des Großhirns.

Unterhalb des aufsitzenden Kleinhirns bilden die Brücke mit den Ausläufern des Großhirns (Großhirnschenkel) und dem recht dicken Beginn des Rückenmarks (Verlängertes Rückenmark = Medulla oblongata) den Hirnstamm. 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 Hirnnervenkern VII (Facialisnerv) 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 Vagus-Nerv, 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.

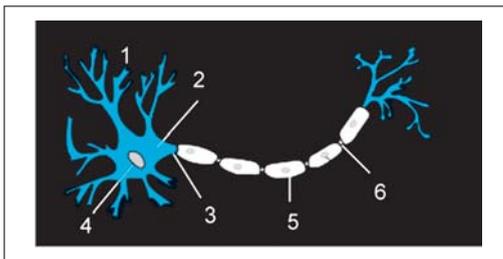


**Abbildung 1.3:** Median-schnitt durch das Gehirn in der Kernspintomographie (MRT)

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 Bewegungssteuerung 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*. 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 markumlagernden 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 dass das Volumen des Gehirns noch ständig zunimmt, obwohl ab der Geburt keine neuen Neurone mehr gebildet werden.

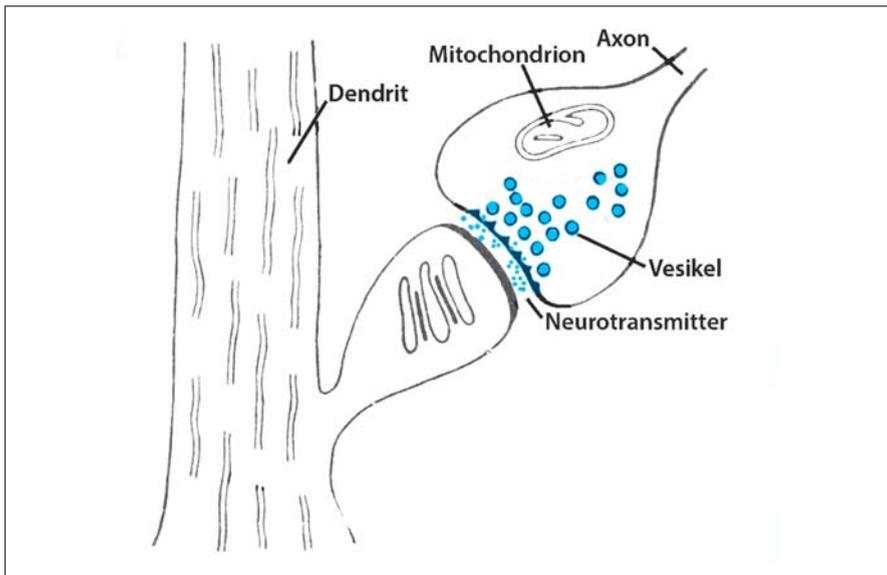


**Abbildung 1.4:** Ein Neuron

- 1 Dendriten
- 2 Zellkörper
- 3 Axon
- 4 Zellkern
- 5 Myelinscheide
- 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 Potential*. 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 Potential an den ausgehenden (efferenten) Fasern eine bestimmte Schwelle, wird plötzlich ein *Aktionspotential* ausgelöst. Die Auslösung folgt dem Alles-oder-Nichts-Prinzip, d.h. entweder ist die Erregung überschwellig und das Potential wird ausgelöst oder es wird nicht ausgelöst. Es gibt nur Null (Ruhe) oder Eins (Erregung). Das Aktionspotential breitet sich mit großer Geschwindigkeit in den auslaufenden Fasern aus.

Den elektrischen Ruhezustand eines Neurons nennt man *Ruhepotential*. Damit ist gemeint, dass die Zellmembran eine Spannung aufrecht erhält, indem ständig eine chemische Reaktion Natriumionen aus der Zelle herausgepumpt und Kaliumionen hineingelassen werden. Diese Natrium-Kalium-Pumpe führt an der Zellmembran zu einem Spannungsungleichgewicht, eben dem Ruhepotential. 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 Ruhepotential, eine im Zellinneren negative Ladung, kehrt sich nun plötzlich in eine positive Ladung um. Diesen Potentialumschwung nennt man ein *Aktionspotential*. Es kann über das Axon an andere Zellen fortgeleitet werden. Das Aktionspotential 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 Aktionspotentials 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 Aktionspotential.



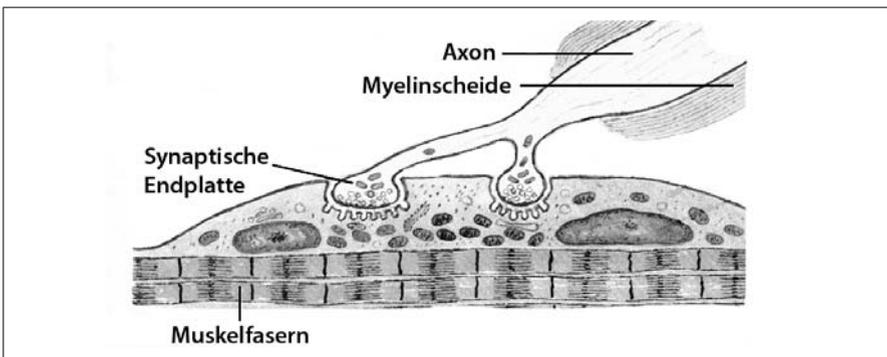
**Abbildung 1.5:** Struktur einer axo-dendritischen Synapse

Wenn die Erregung mit einem Aktionspotential 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 Aktionspotential an die Synapse, werden die Neu-

rotransmitter innerhalb von einer Millisekunde aus den Bläschen entlassen und durch die Synapsenmembran in den Zwischenraum zwischen Synapse und Empfangsmembran (postsynaptische Membran) geschickt (s. 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 Potential 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 Aktionspotentiale 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 (s. Abb. 1.6).



**Abbildung 1.6:** Motorische Endplatte: eine Synapse an der Muskelfaser

Die Vesikel sind vollgestopft mit dem Neurotransmitter Acetylcholin, von dem sie jeweils 1000 bis 10000 Moleküle enthalten. Kommen Aktionspotentiale über das zuleitende Axon an, so öffnen sich spannungsabhängige 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 (Nucleus) 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 Neuron:*

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 Zelleib 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 Aktionspotential. 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 Aktionspotentiale 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 und 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. (2010). *Das Gehirn*. München: Dorling Kindersley.  
Faller, A. & Schünke, G. (2008). *Der Körper des Menschen*. Stuttgart: Thieme.  
Huch, R. & Jürgens, K. (2007). *Mensch, Körper, Krankheit*. München: Urban & Fischer.