

## 2 Neurobiologische und Neurophysiologische Grundlagen

An dieser Stelle wird der Leser eingeladen, sich auf eine ebenso spannende wie herausfordernde Reise durch die aufregende Welt unseres Körpers zu begeben. Dabei werden insbesondere nur die Bereiche und Prozesse angesprochen und näher analysiert, die in direktem Bezug zu dem Thema Neuromarketing stehen. Im Wesentlichen sind dies das Nervensystem und das Gehirn des Menschen. An vielen Stellen wird versucht, komplexes, biologisches und anatomisches Wissen für den interessierten Praktiker vereinfacht darzustellen, ohne dabei deren wissenschaftlichen Hintergrund zu entbehren. Im Verlauf der Lektüre wird der Leser auf diese Weise mit dem notwendigen Basiswissen ausgestattet, um praxisrelevante Übertragungen neuronaler Grundlagen auf die moderne Marketingpraxis nachzuvollziehen und wissenschaftlich begründen zu können.

### 2.1 Die Nervenzelle

Die Nervenzelle ist eine der interessantesten Zellen der gesamten Biologie. In der neueren Literatur wird die Gesamtanzahl der menschlichen Nervenzellen auf mehrere Milliarden geschätzt (Thompson, 2001). Rudolf Virchow erkannte bereits 1846, dass das Nervensystem aller Tiere ebenso wie das Gehirn des Menschen aus zwei Haupttypen von Zellen aufgebaut ist: den Nervenzellen oder Neuronen genannt, und den Gliazellen (von griechisch *glia* = Leim). Während Nervenzellen für die Aufnahme, Weiterleitung und Verarbeitung von Informationen zuständig sind, haben die Gliazellen unterschiedliche Aufgaben (Bayrhuber et al., 1998; Roth, 2003; Lexikon der Neurowissenschaft, 2005). Als eine der bedeutendsten Gruppen nichtneuroner Zellen des Nervensystems sind sie menschliche Stützelemente (Pufferfunktion) im Zentralnervensystem (ZNS) und isolieren Nervenzellen voneinander (Isolationsfunktion), wobei sie auch für die gleichbleibende Zusammensetzung der Flüssigkeiten zwischen den Nervenzellen sorgen. Gliazellen sind meist klein und sehr zahlreich, sie machen mehr als die Hälfte des Nervenzellvolumens aus. Im Nervensystem der Wirbeltiere gibt es zehn- bis fünfzigmal mehr Gliazellen als Nervenzellen (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005; Bayrhuber et al., 1998; Erdmann et al., 2005). Da trotz der früheren Entdeckung der beiden unterschiedlichen Zelltypen bis heute relativ wenig über die Gliazellen bekannt ist, dominiert die Nervenzelle das sog. Nervensystemkonzept,

womit die Rolle der Gliazellen unterbewertet wird<sup>1</sup>. Da sich das vorliegende Werk vor allem mit der Informationsverarbeitung im Nervensystem befasst, beschränken sich auch die folgenden Darstellungen auf die Nervenzelle.

In vielerlei Hinsicht entsprechen Nervenzellen allen anderen Zelltypen im Körper des Menschen. Trotzdem haben sie sich in einer besonderen Weise gegenüber anderen Zelltypen spezialisiert: Sie übertragen Informationen auf andere Nervenzellen. Möchte man das Gehirn und die Prozesse der Reizübertragung verstehen, so muss man sich zunächst mit dessen funktionaler Grundeinheit, den Nervenzellen, befassen. Die Funktionsweise des Gehirns beruht auf dessen struktureller und funktioneller Organisation, d.h. darauf, wie Neuronen im Schaltplan des Gehirns vernetzt sind und wie sie zusammenarbeiten und sich dabei gegenseitig beeinflussen. Ein genaues Verständnis der Funktionsweise der Nervenzelle ist daher fundamental für das Verständnis des Gehirns (Thompson, 2001).

Nervenzellen sind strukturelle Bauelemente und funktionelle Schalteinheiten des Nervensystems, die sehr unterschiedlich aussehen können (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005). Bayrhuber et al. (1998) wie auch Roth (2003) identifizieren drei wesentliche Teile, die generell bei einer Nervenzelle zu unterscheiden sind: Zum einen der Zellkörper, der den Zellkern und die wichtigsten Organellen enthält. Seine durchschnittliche Größe beträgt ca. 10-50  $\mu\text{m}$ . Er sorgt für den Stoffwechsel und für die Synthese der von der Zelle benötigten Makromoleküle. Zum zweiten die Dendriten (von griechisch dendrites = baumartig), deren durchschnittliche Größe ca. 200-300  $\mu\text{m}$  beträgt. Dabei handelt es sich um kurze, stark verästelte Fortsätze, mit deren Hilfe das Neuron Informationen empfängt. Jedes Neuron besitzt einen sog. Dendritenbaum zur Aufnahme neuronaler Erregung und ihrer Fortleitung zum Zellkörper, dem sog. Soma. Drittens das Axon mit einer durchschnittlichen Größe von ca. 50-100  $\mu\text{m}$ . Ein Axon, auch Nervenfasern genannt, ist ein langer Fortsatz, der Informationen aktiv über große Entfernungen weitergibt. Das Axon kann verzweigt oder unverzweigt sein und dient dazu, die neuronale Erregung von der Nervenzelle zu anderen Nervenzellen oder zu Effektoren, z.B. Drüsen oder Muskeln, weiterzuleiten. Sein Ursprungsort am Soma oder am Schaft des Dendritenbaumes wird Axonhügel genannt.

---

<sup>1</sup> Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass Gliazellen vor allem für den Abbau überschüssiger Neurotransmitter im Bereich der Synapsen verantwortlich sind; ebenso sind sie an der Beseitigung abgestorbenen Nervenmaterials beteiligt, in dem sie sich vermehren und dadurch Zellbruchstücke wegräumen. Zudem ernähren sie die Neuronen und sorgen für die Regulierung des Ionenhaushaltes im Extrazellulärraum (siehe 2.2). Im Gegensatz zu den Nervenzellen, deren Anzahl beim ausgewachsenen Gehirn niemals mehr zunimmt, ist die Anzahl der Gliazellen nicht beschränkt.

(Bayrhuber et al., 1998; Roth, 2003). Ein Axon kann sehr kurz oder auch verhältnismäßig lang sein, d.h. wenige Mikrometer (Tausendstel Millimeter) oder mehr als einen Meter, und sich ähnlich wie der Dendritenbaum überall in seinem Verlauf in Seitenkästen, den sog. Kollateralen, aufspalten um so Kontakte zu Dendriten, Zellkörpern oder Axonen anderer Nervenzellen zu bilden. Eine Nervenzelle kann von einigen wenigen bis zu mehreren Tausend Dendriten besitzen.

Die Abbildung 8 stellt eine typische motorische Nervenzelle ( $\alpha$ -Motoneuron) dar. Sie steuern die Kontraktion von Muskeln und haben einen ca. 0,25 mm großen Zellkörper. Von diesem Zellkörper (dem sog. Perikaryon) gehen etliche Dendriten aus, aber nur einer davon ist das Axon (auch Neurit genannt), welches beim Menschen bspw. über 1 m lang sein kann, z.B. vom Rückenmark bis zum Fuß. Das Axon wiederum kann sich ebenfalls verzweigen und eigene Fortsätze aussenden, wobei an jedem Nervenzellkörper immer nur ein einziges Axon entspringt. Am Ende des Axons spaltet sich selbiges wiederum in kleinere Äste auf, den sog. synaptischen Endknöpfchen. Sie stehen in Kontakt mit anderen Zellen wie bspw. Neuronen, Muskel- oder Drüsenzellen. Die synaptischen Endknöpfchen bilden sog. Synapsen (von griechisch *synapsis* = Verbindung), die letztlich für die Informationsweitergabe auf andere Zellen verantwortlich sind. Ein typisches Neuron in der Großhirnrinde weist mehrere Tausend Synapsen zu anderen Zellen auf.

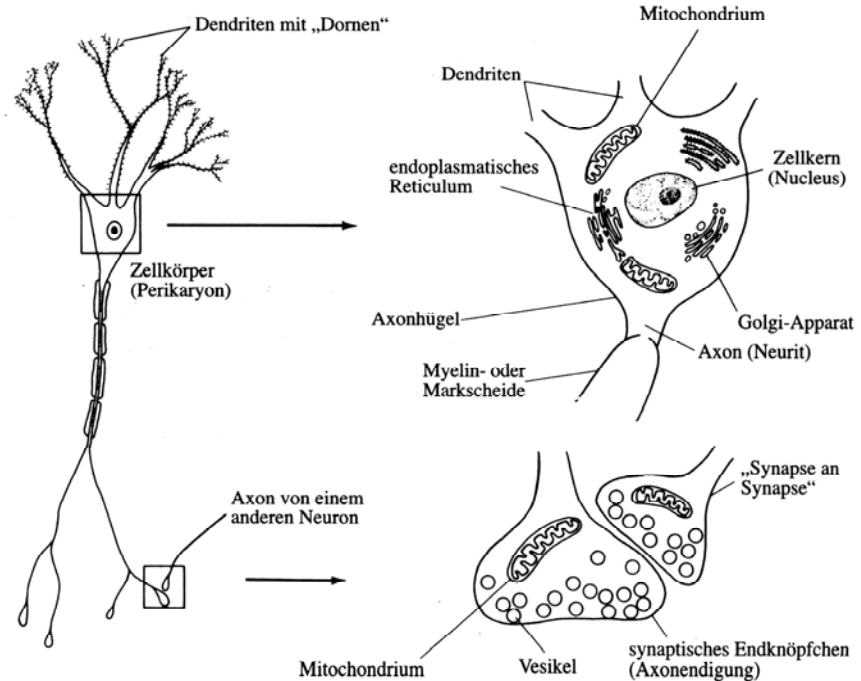


Abbildung 8: Die Hauptbestandteile einer Nervenzelle  
(Thompson, 2001, S. 34)

Die obige Abbildung illustriert den Zellkörper, der im Wesentlichen die gleichen Organellen wie auch andere Zellen enthält. Er hat einen Durchmesser von ca. 0,01 bis 0,1 mm. In ihm selbst liegen viele Mitochondrien (siehe 2.1.1) sowie ein stark ausgeprägtes endoplasmatisches Retikulum (ER). Das ER ist ein Membransystem, das einen Großteil des Cytoplasmas durchzieht. Ebenfalls befindet sich hier das Cytoplasma, in dem die üblichen Stoffwechselforgänge der Zelle ablaufen (Erdmann et al., 2005, S. 17). Der Axonhügel (die Stelle, an dem das Axon den Zellkörper verlässt) ist nackt. Erst kurz danach zeigt sich, dass das Axon von bestimmten Gliazellen, den sog. *Schwannschen Zellen* umgeben ist<sup>2</sup>. Sie sind weitaus kürzer als das Axon, so dass ein Axon von vielen hintereinander liegenden Schwannschen Zellen umhüllt wird. In

<sup>2</sup> Dieser Sachverhalt lässt sich nur bei Vertebraten (Wirbeltieren) beobachten.

der Embryonalzeit wickeln sich diese mehrmals um die Axone, so dass eine Hülle von lamellenartigem Aufbau entsteht. Diese Hülle bezeichnet man als *Markscheide*, *Schwannsche Scheide* oder *Myelinscheide* (Bayrhuber et al., 1998; Thompson, 2001).

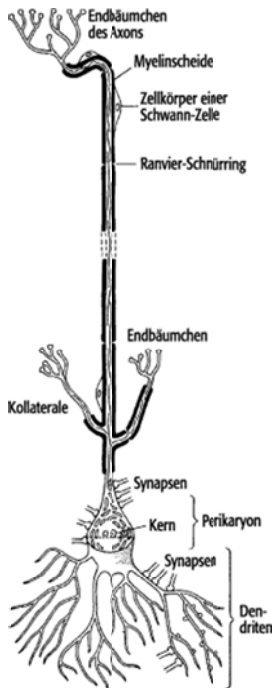


Abbildung 9: Der Aufbau eines Axons (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005)

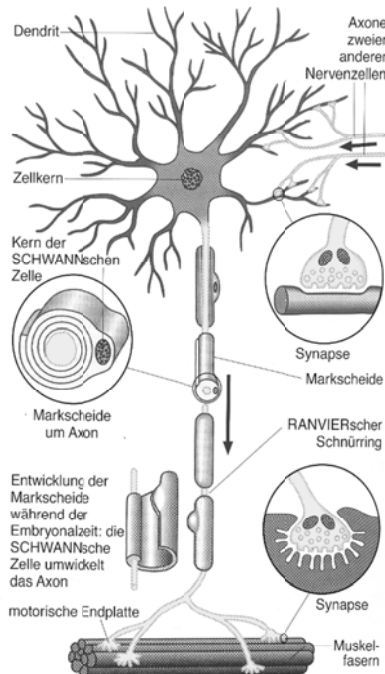


Abb.174.1: Motoneuron im Rückenmark, schematisch. Durchmesser des Axons 5 bis 20 µm. Die roten Pfeile zeigen die Richtung des Erregungsflusses an. Zellkörper blau, Dendriten grün, Axon gelb. Aus dem Axon sind in der Mitte etwa 70 cm herausgeschnitten. Bei dem gewählten Maßstab wären das etwa 40 m.

Abbildung 10: Motoneuron im Rückenmark (Bayrhuber et al., 1998, S. 174)

Betrachtet man das Axon genauer, so kann man feststellen, dass dort wo zwei Schwannsche Zellen zusammentreffen, die Axonmembran für ein kurzes Stück frei-

liegt. Diese Stellen wurden nach ihrem Entdecker *Ranviersche Schnürringe* genannt, weil sie im Mikroskop als Einschnürungen der Markscheide erscheinen (Bayrhuber et al., 1998). Zwei hintereinander liegende Ranviersche Schnürringe haben einen Abstand von 1-2 mm. Bei Axonen mit Markscheide werden Informationen in der Regel viel schneller weitergeleitet als bei Axonen ohne Markscheide.

Neben den markhaltigen Nervenfasern gibt es auch marklose Fasern, die lediglich von einer einfachen, aber nicht isolierenden Hüllzelle umgeben sind. Zu dieser Gruppe gehören alle Nerven der wirbellosen Tiere sowie auch einige Nerven des vegetativen Nervensystems der Wirbeltiere (Erdmann et al., 2005). Die Abbildung 11 gibt schematisch verschiedene Typen von Neuronen im Säugerhirn wieder:

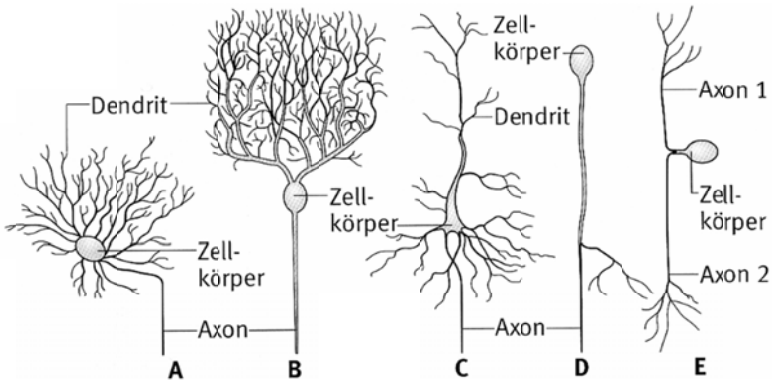


Abbildung 11: Verschiedene Typen von Neuronen im Säugerhirn

A: Korbzelle; B: Purkinje-Zelle; C: Pyramidenzelle; D: Neuronen eines wirbellosen Tieres; E: Spinalganglionzelle (Erdmann et al., 2005, S. 18)

### 2.1.1 Die Mitochondrien – Kraftwerke der Zelle

Der Zellkörper enthält Mitochondrien, die die „Kraftwerke“ der Zellen darstellen, d.h. sie versorgen die Zellen mit Bioenergie. Sie benötigen Glucose und Sauerstoff, um Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat-) Molekülen bereitzustellen. ATP besteht aus Adenosindiphosphat (ADP) und einem weiteren Phosphoratom, wobei die Energie zwischen dem zweiten und dritten Phosphoratom sitzt. Wird Energie gebildet, so entstehen als Nebenprodukte Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Der Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), den wir einatmen ist wiederum elementare Komponente bei der

Energieerzeugung in den Mitochondrien. Das Gehirn ist daher ständig darauf bedacht, die Zellen des Körpers mit Sauerstoff und Glucose zu versorgen, indem es selbige durch das Blut transportiert, so dass die Mitochondrien ATP synthetisieren können. ATP stellt somit eine der wichtigsten energiereichen Verbindungen im Körper dar und hat „eine universelle biologische Bedeutung im intrazellulären Energiestoffwechsel als temporärer Speicher chemischer Energie“ (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005). ATP wird überall dort benötigt, wo Muskeln sich kontrahieren oder auch bei der Synthese chemischer Verbindungen, die Energie benötigen<sup>3</sup>. Der Prozess der ATP-Bildung in jedweder Zelle kann schematisch wie folgt dargestellt werden (Lexikon der Neurowissenschaften, 2005):

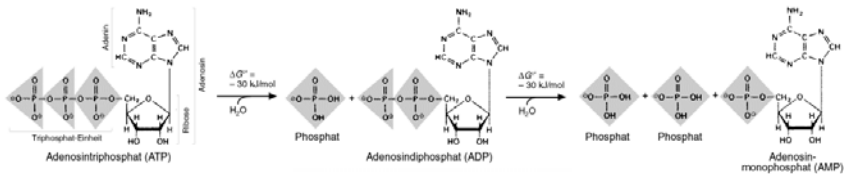


Abbildung 12: ATP besteht aus Adenin, Ribose und einer Triphosphat-Einheit mit zwei inneren Phosphorsäureanhydrid-Bindungen (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005)

Wird Energie benötigt, so spaltet sich ATP in  $\text{ADP} + \text{P}$  gemäß der exogenen Reaktion  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$ ;  $\Delta H < 0$  mit  $\text{P}_i$  = anorganischer Phosphatrest. Die Bindung des zweiten bzw. dritten Phosphoratoms ist wie erwähnt sehr energiereich und leicht aufzuspalten. Dabei wird zusammen eine Energie von 8-10 kcal/mol (ca. 30 kJ/mol) freigesetzt.

ATP fungiert nicht nur als Energieträger im Organismus, sondern ist auch als Neurotransmitter im Gehirn, sowie im sympathischen und parasymphatischen Nervensystem nachweisbar. Dabei kann ATP sowohl als eigenständiger Transmitter fungieren als auch die Freisetzung von Neurotransmittern wie Acetylcholin (ACh) und Noradrenalin modulieren. ATP wird z.B. als Cotransmitter (Cotransmission) zusammen mit Noradrenalin in Vesikeln in den Endigungen postganglionärer sympathischer Nerven gespeichert. Aktionspotentiale, von denen in 2.2.2 die Rede sein wird, bewirken die Freisetzung dieses Transmitter-Cocktails aus den Speichervesikeln in den synaptischen Spalt (Synapsen). Weiterhin sind exzitatorische ATP-Wirkungen auch an einer ganzen Reihe weiterer Gewebe, wie Skelettmuskel und Herzmuskel, bekannt. Exo-

genes ATP kann im Gehirn an bestimmten Neuronen auch die neuronale Aktivität steigern.

Die Konzentration von ATP in der Zelle liegt bei 0,5 - 2,5 mg/cm<sup>3</sup> Gewebe, wobei die Lebensdauer eines einzelnen ATP-Moleküls sehr kurz ist. Beim Abbau der durchschnittlichen Nahrungsmenge, die der Mensch in einem Tag aufnimmt, wird so viel Energie freigesetzt, dass damit ca. 85 kg ATP gebildet werden könnten (Bayrhuber et al., 1998). Da der menschliche Körper aber nur 35 g ATP enthält, müssen seine ATP-Moleküle etwa 2400 Mal aus ADP aufgebaut und wieder zu ADP abgebaut werden. Bemerkenswert ist, dass ca. 20% des Grundumsatzes der Energie für das Nervensystem benötigt wird.

### 2.1.2 *Das Axon, die funktionale Einheit der Nervenzelle*

Das Axon ist innerhalb der Nervenzelle im Wesentlichen für zwei Hauptfunktionen verantwortlich: Es leitet zum einen Informationen in Form des sog. *Aktionspotentials* vom Zellkörper zu den Synapsenendknöpfchen weiter, wo daraufhin die synaptische Reizübertragung stattfindet. Daneben werden aber auch chemische Substanzen von den Synapsenendknöpfchen zum Zellkörper transportiert (man spricht vom sog. axoplasmatischen oder axonalen Transport). Die Abbildung 13 zeigt schematisch den axonalen bzw. den axoplasmatischen Transport:



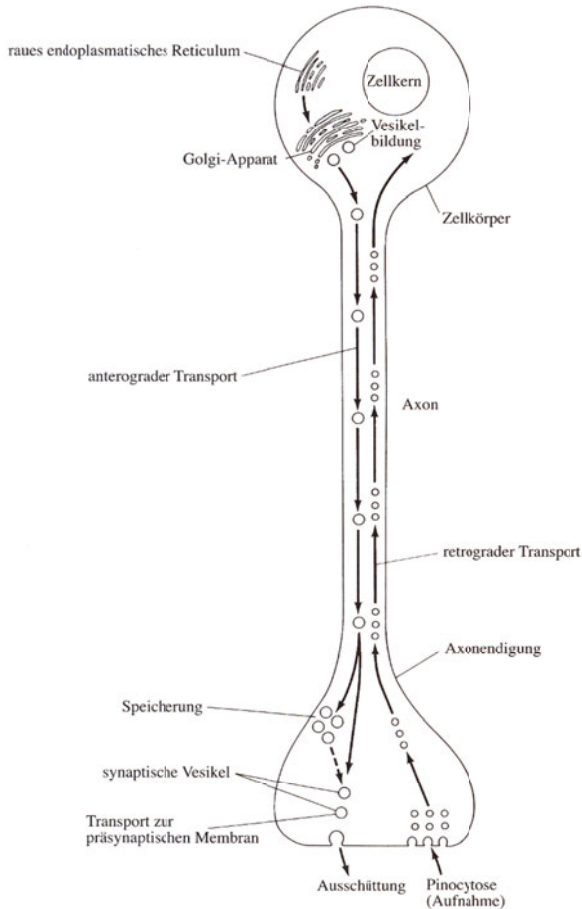


Abbildung 13: Schematische Darstellung des axonalen Transports  
(Thompson, 2001, S. 37)

Hier wird deutlich, dass chemische Substanzen vom Zellkörper aus zu den Synapsenendknöpfchen (sog. anterograde Transport) oder in umgekehrter Richtung (retrograde Transport) durch das Axon transportiert werden (Thompson, 2001). Neben dem endoplasmatischen Reticulum (ER) stellt der Golgi-Apparat ein weiteres intrazelluläres Membransystem dar. Im Vergleich weist es dichtere, in Stapeln angeordnete

te Membranen auf und befindet sich zwischen dem ER und der Außenseite der Zelle. Sowohl das ER als auch der Golgi-Apparat produzieren und setzen chemische Substanzen frei. Im ER werden Proteine, Peptide und Transmitterstoffe synthetisiert und dann im Golgi-Apparat in kleine Vesikel (Bläschen) verpackt und in dieser Form aus der Zelle transportiert oder in einen anderen Zellbezirk gebracht. Der Syntheseort der Neurotransmitter, die an den Synapsenendknöpfchen Informationen von einer Zelle auf die andere übertragen, befinden sich jedoch häufig direkt in den synaptischen Endköpfchen (Thompson, 2001; Lexikon der Neurowissenschaft, 2005).

Eine besondere Bedeutung innerhalb des Axons kommt dem sog. *Mikrotubuli* (von griechisch mikros = klein, lateinisch tubuli = kleine Röhren) zu. Mikrotubuli sind röhrenförmige Strukturen mit einem Gesamt-Durchmesser von 25 nm. Ein einzelner Mikrotubulus besteht aus 13 Protofilamenten, die zusammen die Röhrenstruktur bilden (Lexikon der Neurowissenschaft, 2005). Diese Röhren verlaufen vom Zellkörper aus bis hin zur Synapse und ermöglichen der Zelle, verschiedene Substanzen in beide Richtungen des Axons zu transportieren (Thompson, 2001). Das bedeutet, bestimmte im ER gebildete Stoffe werden entlang der Mikrotubuli in die Synapsenendknöpfchen transportiert und dort gespeichert. Andererseits werden am Ende des Axons (am sog. synaptischen Spalt) Überträgersubstanzen aufgenommen und dann zurück zum Zellkörper transportiert.

Thompson (2001) macht darauf aufmerksam, dass es innerhalb des Axons schnelle und langsame Transportprozesse gibt: beim schnellen Transport werden Lipide, Proteine und sonstige Stoffe mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 mm pro Tag durch das Axon transportiert, so dass es oft „nur“ wenige Stunden dauert, bis eine Substanz die gesamte Länge des Axons zurückgelegt hat. Andererseits werden bei einem langsamen Transportprozess Stoffe nur mit einer Geschwindigkeit von wenigen Millimetern pro Tag bewegt (Thompson, 2001).

### 2.1.3 Die Synapse

Das Gehirn des Menschen hat Schätzungen zufolge etwa 100 bis 500 Billionen Synapsen (Thompson, 2001). Diese können nur von Nervenzellen und deren Zielzellen gebildet werden. Sie stellen den Ort dar, an dem Informationen von einer Zelle auf eine andere Zelle übertragen werden. Grundsätzlich unterscheidet die moderne Forschung zwei Typen von Synapsen: chemische und elektrische, wobei die meisten Synapsen (zumindest im Wirbeltiergehirn) zu den chemischen Synapsen gehören



<http://www.springer.com/978-3-8349-2572-5>

Neuromarketing

Grundlagen - Erkenntnisse - Anwendungen

Raab, G.; Gernsheimer, O.; Schindler, M.

2013, XXII, 349 S. 126 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-8349-2572-5