

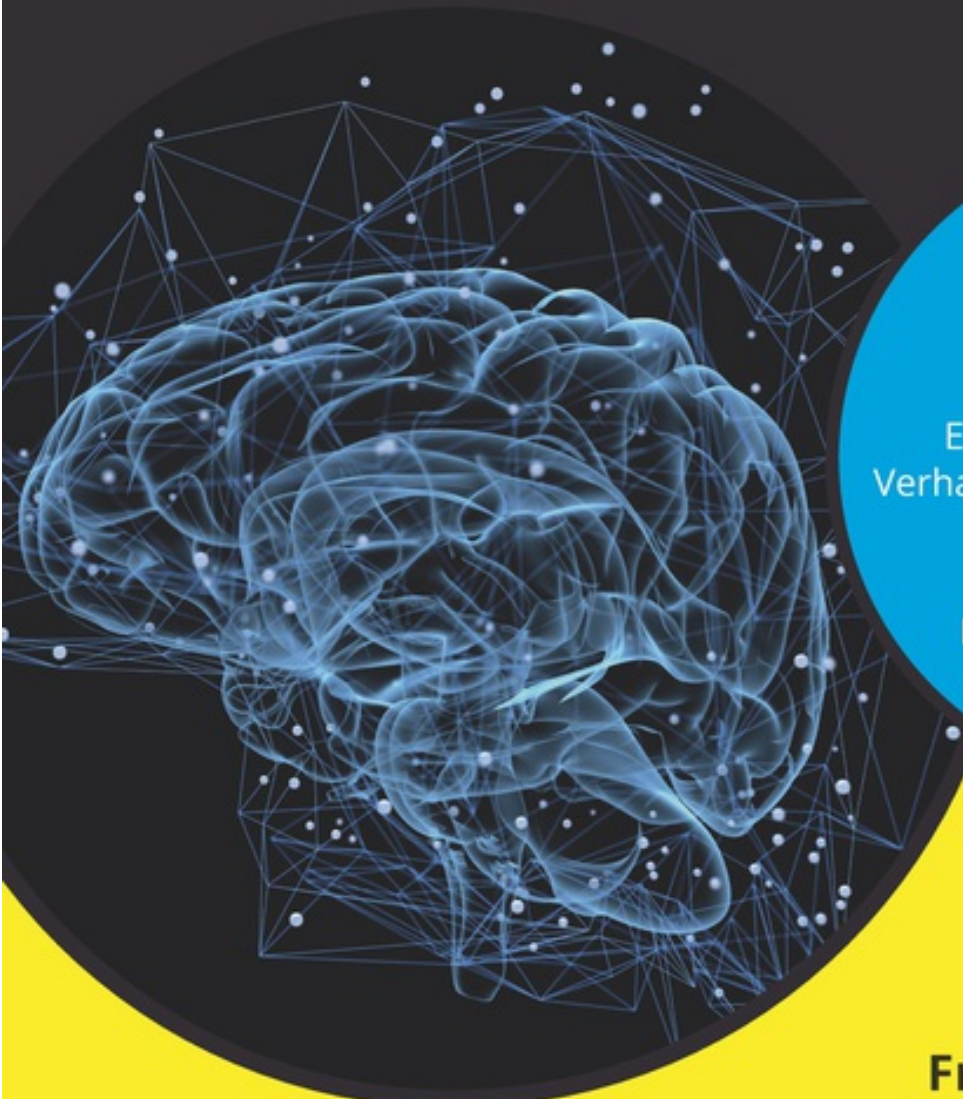
LERNEN EINFACH GEMACHT



2. Auflage

Das menschliche Gehirn

für
dummies[®]



Die Funktionsweise
des Nervensystems
verstehen

Emotionen, Bewusstsein,
Verhalten und Intelligenz auf den
Grund gehen

Lernen und Erinnerung
nachvollziehen

Frank Amthor

Reaktion zu planen und auszuführen.

Was das Nervensystem grundlegend von anderen funktionellen Gruppen von Zellen unterscheidet, ist die Komplexität, mit der die Nervenzellen untereinander verschaltet sind. Das menschliche Gehirn besteht aus etwa 100 Milliarden Neuronen. Jedes einzelne Neuron ist vernetzt und besitzt etwa 20.000 synaptische Kontaktstellen zu anderen Neuronen. Das ergibt etwa zwei Billionen Synapsen! – eine wirklich unvorstellbar große Zahl. (In [Kapitel 3](#) erfahren Sie mehr über Neuronen und ihre Funktion.)

Signalverarbeitung in Schaltkreisen, Segmenten und Modulen

Von der Seite oder von oben betrachtet macht die *Großhirnrinde* den größten Teil des Gehirns aus. Diese ist fast ein Viertel Quadratmeter groß und liegt in vielen Falten, damit sie überhaupt in den Schädel passt. Die Nervenzellen der Großhirnrinde bilden einen komplexen neuronalen Schaltkreis.



Die verschiedenen Bereiche des Gehirns sind hochspezialisiert. Einige verarbeiten Reize, die von den Sinnesorganen aufgenommen werden (zum Beispiel akustische oder optische Reize), andere steuern durch motorische Impulse unsere Bewegung (zum Beispiel die Bewegung der Gliedmaßen oder der Zunge). Dabei bestimmt nicht der Bereich des Gehirns selbst seine Funktion, sondern die Art der Signale und der Ort, an dem sie entstehen, entscheiden darüber.

Selbst wenn die Nervenzellen und Schaltkreise des Hörzentrums denen im Sehzentrum oder im motorischen Zentrum gleichen, ist das Hörzentrum eben das Hörzentrum, weil es die Signale aus der Hörschnecke (einem Teil des Innenohres) verarbeitet und an Bereiche sendet, die akustische Informationen weiterverarbeiten und sie dafür nutzen, das Verhalten zu steuern.

Auch andere Teile des Nervensystems bestehen aus Schaltkreisen oder Leitungsbahnen:

- ✓ **Das Rückenmark** besteht aus einzelnen Segmenten (Hals, Brust, Lende und so weiter), deren Struktur sich fortlaufend wiederholt.
- ✓ **Das Kleinhirn**, eine markante Struktur an der Rückseite des Gehirns unterhalb der Großhirnrinde, steuert die Feinabstimmung von Bewegungen und spielt eine wichtige Rolle beim Erlernen von Bewegungsabläufen. Im Kleinhirn formen neuronale Schaltkreise verschiedene Module, die für die Planung und Ausführung von Bewegungen und das Gleichgewicht verantwortlich sind.



Alle Module des zentralen Nervensystems sind miteinander vernetzt.

Im Querschnitt des Gehirns erkennen Sie, dass das Gehirn zu einem viel größeren Teil aus der *weißen* als aus der *grauen Substanz* besteht. Die weiße Substanz bilden die *Axone*. Das sind Nervenfasern, die die Nervenzellen miteinander verbinden. Die dunkler gefärbte graue Substanz besteht aus den Körpern der Nervenzellen und den Dendriten, die elektrische Reize aufnehmen und an den Zellkörper weiterleiten. Warum ist das so? Weil das Gehirn die Verbindungen zwischen den Nervenzellen benutzt, um in neuronalen Schaltkreisen Berechnungen durchzuführen. Jedes einzelne Neuron ist nur mit einem Bruchteil der anderen Neuronen im Gehirn verbunden. Um die »Rechenergebnisse« an andere Hirnareale zu übertragen, müssen die Signale durch die Axone über größere Distanzen weitergeleitet werden.

Was für eine Ladung: Elektrizität im Gehirn

Die meisten Nervenzellen sind darauf spezialisiert, Informationen zu verarbeiten oder weiterzuleiten. Sie besitzen zwei verschiedene Verzweigungen, die aus dem Zellkörper entspringen: die *Dendriten* und die *Axone*. Dendriten nehmen die elektrischen Impulse anderer Nervenzellen auf. Axone sind der Teil der Nervenzelle, der Reize weiterleitet und an andere Nervenzellen oder Organe abgibt.

Dendriten sind nicht länger als einige Hundert Mikrometer, Axone können dagegen bis zu einem Meter lang werden (wie die Axone, die vom primär-motorischen Kortex bis zum unteren Ende des Rückenmarks reichen). Da die Verzweigungen der Nervenzellen mitunter sehr weit reichen, brauchen sie Mechanismen, mit denen sie Signale trotz größerer Distanzen schnell verarbeiten können. Die Weiterleitung von Signalen erfolgt über elektrische Ladungen und wird durch die Myelin-Umhüllung der Gliazellen gefördert, die so ähnlich wie die Isolierung bei Elektrokabeln eine schnelle Übertragung der Ladung ermöglicht. Neuronen benutzen elektrische Signale, um innerhalb der Zelle Informationen weiterzuleiten. Einkommende Signale werden über die Dendriten in den Zellkörper geleitet. Der Zellkörper wandelt diese elektrische Energie in Impulse um, die entlang des Axons zu einem anderen Neuron gesendet werden. Wenn Sie mehr darüber wissen möchten, wie Neuronen generell miteinander kommunizieren, sollten Sie zu [Kapitel 3](#) weiterblättern. In den Kapiteln in [Teil II](#) erfahren Sie, wie die Reizübertragung im sensorischen Nervensystem funktioniert.

Der modulare Aufbau des Nervensystems

Die Neuronen arbeiten in kleinen Einheiten neuronaler Schaltkreise, die aus mehreren Hundert Nervenzellen bestehen und sich aus unterschiedlichen Neuronenarten zusammensetzen. Diese Schaltkreise verarbeiten eingehende Signale und senden die Ergebnisse über die Projektionsneuronen an andere Schaltkreise.

Mehrere neuronale Schaltkreise bilden einzelne *Module*, die verschiedene Funktionen

besitzen wie zum Beispiel senkrechte Linien zu erkennen, 10.000 Hertz-Töne wahrzunehmen, einen bestimmten Fingermuskel zu bewegen oder die Herzfrequenz zu erhöhen. Gruppen gleicher Module bilden große Hirnregionen. Alle Hirnmodule, das Rückenmark, peripheres und vegetatives Nervensystem arbeiten zusammen. Sie regulieren die Funktionen Ihres Organismus und sorgen dafür, dass Sie überleben. Doch das ist nicht alles: Wir haben Gefühle, Erinnerungen, Sehnsüchte und sind neugierig. Wir können sprechen, uns selbst reflektieren, beherrschen viele Techniken und machen uns Gedanken über unseren Platz im Universum.

Die Basis-Funktionen des Nervensystems

Tiere besitzen ein Nervensystem, Pflanzen nicht. Warum ist das so? Beide sind Vielzeller und viele Pflanzen wie etwa die Bäume sind viel größer als die größten Tiere.

Der Hauptunterschied liegt darin, dass sich Tiere aktiv bewegen können und Pflanzen nur begrenzt (wie beispielsweise einige einzellige Pflanzen oder die Fangblätter der Venusfliegenfalle, die sehr schnell zusammenklappen können, sobald sich ein Beutetier verfangen hat. Doch das lassen wir an dieser Stelle einmal außen vor!). Nervensysteme ermöglichen aktive Bewegung, und aktive Bewegung ist das, was uns von den meistens sessilen Pflanzen unterscheidet.

Das verschwundene Gehirn

Seescheiden sind sessile Manteltiere, die auf dem Meeresgrund leben und ihre Nährstoffe aus dem Meerwasser filtern. Das Interessante an diesen Tieren ist, dass sie im Larvenstadium über eine Gehirnanlage (ein Zerebralganglion) verfügen, die es ihnen ermöglicht zu schwimmen. Diese Anlage bildet sich jedoch wieder zurück. Als ausgewachsenes Tier lebt die Seescheide am Meeresboden und ist dort wie eine Pflanze verankert – ein Zentralganglion wird nun nicht mehr benötigt.

Die Welt wahrnehmen

Sensorische Nervenzellen messen innerhalb und außerhalb unseres Körpers Energien oder Substanzen. Zu diesen Nervenzellen gehören die Fotorezeptoren im Auge, die Licht wahrnehmen (siehe [Kapitel 5](#)). Die Haarzellen in der Hörschnecke (Cochlea) nehmen akustische Reize auf (siehe [Kapitel 6](#)) und die Mechanorezeptoren in der Haut messen Druck und Vibration (siehe [Kapitel 4](#)). Außerdem gibt es noch Sinneszellen, die bestimmte Moleküle wahrnehmen können. So entsteht der Geruchs- und Geschmackssinn (siehe [Kapitel 7](#)).

Unser Körper besitzt zudem Messfühler, die die Körpertemperatur, die CO₂-Konzentration, den Blutdruck und andere Körperfunktionen überwachen. Das zentrale und das vegetative Nervensystem (beide werden in [Kapitel 11](#) noch genauer beschrieben) verwendet die Signale dieser inneren Sensoren, um unsere Körperfunktionen zu steuern und in einem Gleichgewicht (*Homöostase*) zu halten. Das alles geschieht normalerweise, ohne dass wir etwas davon bemerken.



Die sensorischen Neuronen sind von allen Nervenzellen am höchsten spezialisiert und besitzen ausgeklügelte Mechanismen, um bestimmte Reize wahrzunehmen. So können manche Tiere das Magnetfeld der Erde spüren, weil sie über Zellen verfügen, die Magnetit-Kristalle enthalten. Diese Kristalle im Zellplasma reagieren auf das Erdmagnetfeld und lösen in der Zelle einen elektrischen Impuls aus. Der Impuls wird dann an andere Zellen des Nervensystems weitergegeben und ermöglicht es den Tieren, sich im Magnetfeld zu orientieren.

Immer in Bewegung – motorische Nervenzellen

Die meisten Neuronen sind Interneuronen, die Reize aufnehmen, miteinander verrechnen und diese Output-Signale an andere Neuronen weitergeben. Doch die Nervenzellen, um die es im folgenden Abschnitt geht, sind etwas anders:

- ✓ **Einige Nervenzellen sind auf Sinneswahrnehmungen spezialisiert.** Die Informationen für diese Zellen stammen direkt aus der Umwelt und kommen nicht von anderen Neuronen.
- ✓ **Einige Neuronen übermitteln Signale an Muskeln, Drüsen oder Organe anstatt an andere Nervenzellen.** In diesem Fall lösen sie eine Reaktion aus: ein Hormon kann ausgeschüttet oder eine Körperfunktion reguliert werden. Oder Sie stürmen zur Tür hinaus, weil Sie gehört haben, dass der Postbote klingelt.



Es gibt zwei verschiedene Arten von Bewegungen. Die *bewusste Bewegung* ist das, was die meisten Menschen unter Bewegung verstehen. Sie wird vom zentralen Nervensystem gesteuert, dessen motorische Nervenzellen die *quergestreifte Muskulatur* innervieren (die gleichen Muskeln und Neuronen sind an Reflexreaktionen beteiligt). Wir besitzen jedoch auch *glatte Muskulatur*, die von Neuronen des vegetativen Nervensystems versorgt wird. Diese Muskeln finden Sie im Verdauungstrakt oder in den Pupillen. Bewegung ist ein solch wichtiger Bereich der Neurowissenschaften, dass ich ihm den gesamten [Teil III](#) dieses Buches gewidmet habe.

Entschluss und Tat

Das Nervensystem von Säugetieren ist sehr komplex. Große Bereiche der Großhirnrinde steuern Bewegungen, verarbeiten Sinneseindrücke und sind miteinander verknüpft. Nur weil ein großer Teil des Gehirngewebes für die Bewegungskontrolle verantwortlich ist, sind komplizierte Bewegungsmuster möglich. Die großen Hirnareale, die sensorische Reize verarbeiten, ermöglichen es Ihnen, diese komplexen Abläufe zu erkennen.

Die großen Bereiche des Gehirns, die nicht direkt an der Bewegungskontrolle oder an der Verarbeitung sensorischer Reize beteiligt sind, werden *Assoziationskortex* genannt. Auch wenn es nicht ganz korrekt ist, alle nicht-motorischen und nicht-sensorischen Bereiche des Gehirns unter diesem Oberbegriff zusammenzufassen, besitzt der Assoziationskortex doch eine wichtige Funktion bei den Prozessen, die ablaufen, bis Informationen unserer Sinnesorgane ein bestimmtes Verhalten hervorrufen.

Die intelligentesten Säugetiere wie Menschenaffen, Wale oder Elefanten besitzen die größte Großhirnrinde. Aber natürlich entscheidet nicht allein die Größe des Neokortex über die Intelligenz eines Lebewesens. Die Größe des *Frontallappens* spielt dabei ebenfalls eine wichtige Rolle. Die intelligentesten der Tiere, die ich gerade aufgezählt habe (die Menschenaffen), haben im Verhältnis zum restlichen Neokortex den größten Frontallappen.



Der vorderste Teil des Frontallappens wird *Präfrontalkortex* genannt. Dieser Bereich ist bei Primaten und besonders beim Menschen sehr ausgedehnt. Der Präfrontalkortex ermöglicht es uns, Handlungen zu planen.

Wenn Sie keinen großen Frontallappen hätten, würde Ihr Verhalten von Ihren momentanen Bedürfnissen und den Ereignissen in Ihrer direkten Umwelt bestimmt werden. Wären Sie eine Eidechse, hätten Sie entweder Hunger, würden frieren, nach einem Partner suchen oder sich vor einem Räuber in Sicherheit bringen. Sie hätten eine Reihe Verhaltensmuster gespeichert, zwischen denen Ihr Gehirn wählen könnte. Wenn Sie beispielsweise einen Partner suchen, folgen Sie dem Suche-nach-Liebe-Programm. Wenn Sie über sich einen Greifvogel sehen, würden Sie allerdings sofort auf das Greifvogel-Vermeidungs-Programm umschwenken und einen Stein suchen, unter dem Sie verschwinden können.

Säugetiere haben durch ihr Frontalhirn die Möglichkeit, komplexe, mehrstufige Handlungsentscheidungen zu treffen. Sie können sich vor dem Greifvogel in Sicherheit bringen und sich trotzdem daran erinnern, wo der potenzielle Partner war. Wenn die Gefahr vorüber ist, können Sie Ihre Suche dort fortsetzen, wo sie unterbrochen wurde. Säugetiere können in großen sozialen Gruppen leben, in der sie individuelle Beziehungen zu den anderen Gruppenmitgliedern etablieren.

Intelligenz und Gedächtnis

Wenn wir an Intelligenz denken, denken wir normalerweise an die Unterschiede