

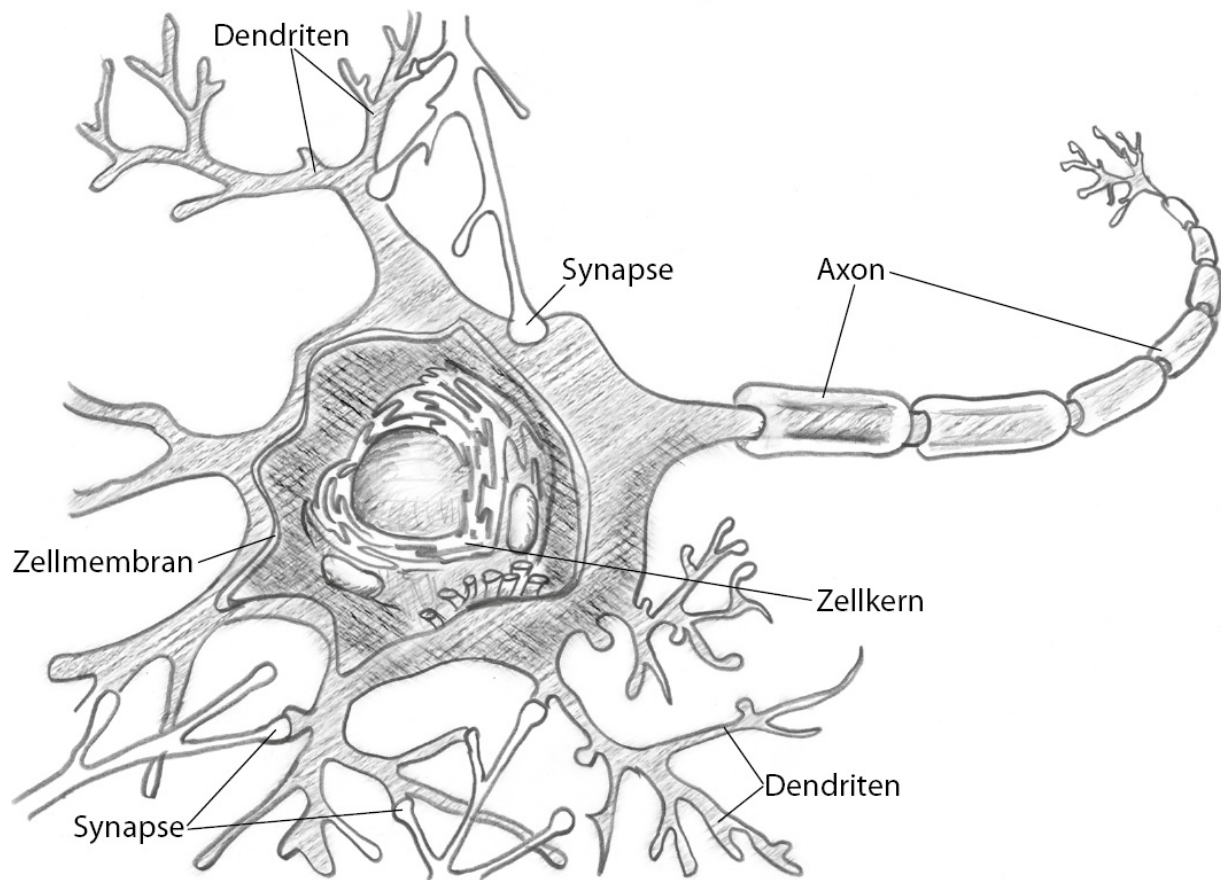
Jeanne Rubner  
Peter Falkai



# Das Glück wohnt neben dem Großhirn

Wie der Kopf unsere  
Gefühle steuert

PIPER



*Über die lange Faser, das Axon, sendet die Nervenzelle Signale, über ihre kurzen, buschigen Dendriten empfängt sie die Botschaften anderer Zellen.*

Aus circa 100 Milliarden Nervenzellen besteht unser Gehirn und jede einzelne Nervenzelle ist ein kleines Wunderwerk der Evolution. Sie besteht aus einem Zellkörper, der aussieht wie ein etwas verschrumpelter, lang gezogener Ballon, dem die Luft ausgegangen ist. Dieser Zellkörper ist eine Miniaturfabrik, in deren Inneren Proteine hergestellt werden. Das sind Eiweißmoleküle, welche die Zelle braucht, um ihre Arbeit zu machen. So wie die Recheneinheit eines Computers erzeugt die Zelle elektrische Botschaften und verschickt sie an andere Zellen. Die Signalmuster, die dabei entstehen, sind der Code des Gehirns. Mit diesem Code werden alle Gedanken und Gefühle geschrieben.

Die elektrischen Botschaften der Nervenzellen oder Neuronen nennt man Aktionspotenziale. Das sind kurze elektrische Spannungspulse, die bei allen Zellen gleich sind. Die Sprache der Nervenzellen kann man sich ein wenig wie Morsen vorstellen, wobei der Sinn sich aus der Frequenz des Klopfens ergibt. Viele Aktionspotenziale in kurzen

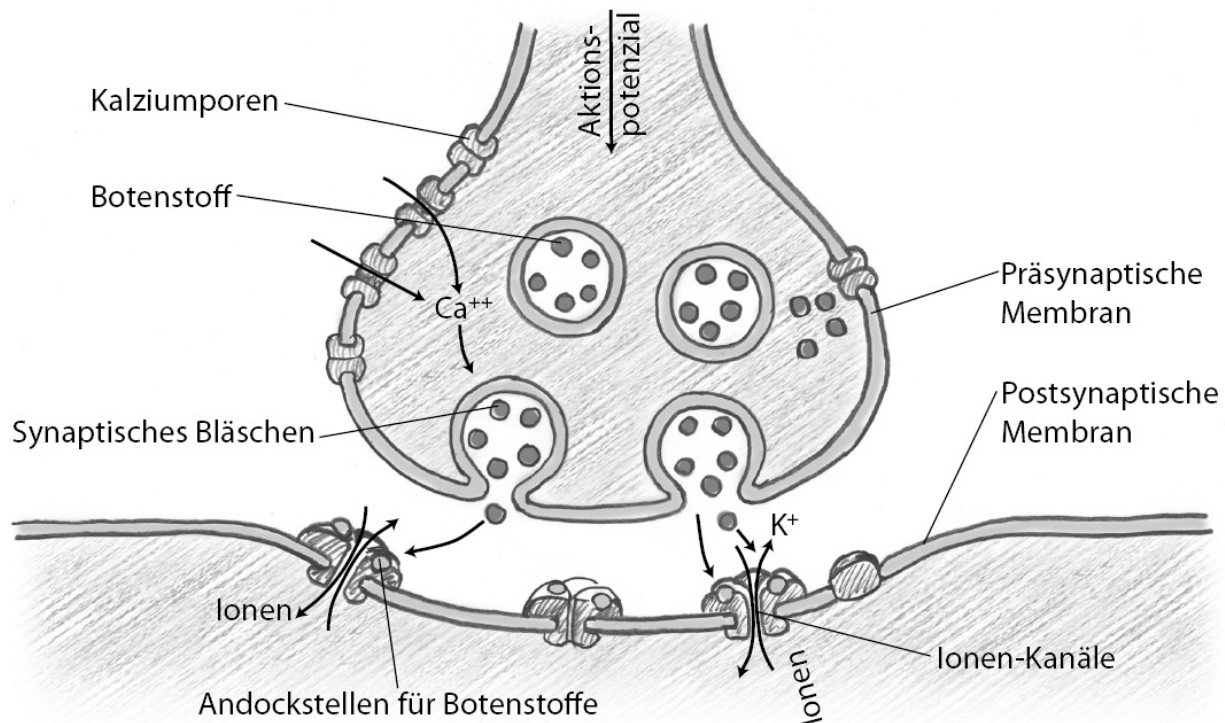
Abständen hintereinander sind demnach ein starkes Signal; kommen die elektrischen Pulse in langen Abständen, dann ist das Signal schwach.

Was jetzt folgt, ist etwas Elektrizitätslehre, aber sie ist wichtig, um zu verstehen, wie der Code des Gehirns funktioniert und warum auch Fehler entstehen können, wenn Nervenzellen kommunizieren. Über seine Membran kann ein Neuron eine elektrische Spannung von knapp einem Zehntel Volt erzeugen, das sogenannte Ruhepotenzial. Jedes Neuron ist also wie eine winzige Batterie mit dem Hundertstel der Spannung einer dieser kleinen, rechteckigen 9-Volt-Batterien. Das ist gar nicht so wenig, bedenkt man, dass es im Gehirn hundert Milliarden Neuronen gibt. Zum Glück sind diese nicht hintereinandergeschaltet wie die Lichter einer Weihnachtskette. Ansonsten würde man beim Berühren des Gehirns einen Stromschlag bekommen. Ein solches Phänomen gibt es übrigens im Tierreich: Das Gehirn des Zitteraals besteht zwar nur aus ein paar Tausend Neuronen, diese sind aber so verschaltet, dass der Körper des Aals einen Stromstoß erzeugen kann, der so stark ist, dass er einen Menschen betäubt.

Auch die Membran einer Nervenzelle, also die Hülle des geschrumpften Luftballons, ist ein kleines Wunderwerk der Evolution. Sie besteht aus einer isolierenden Doppelschicht von Lipidmolekülen, das heißt, sie ähnelt der Haut einer Seifenblase, denn sie ist flüssig und damit äußerst beweglich. In die Membran sind Proteinmoleküle eingebaut, die entweder als Andockstellen für Botenstoffe oder als Kanäle für Ionen dienen. Diese Ionen-Kanäle schleusen Ionen, also geladene Atome, durch die Membran. Kalzium zum Beispiel, Kalium oder Natrium und Chlorid. Das sind die wichtigsten Ionen-Kanäle.

Die Spannung der Nervenmembran entsteht, weil die Umgebung außerhalb der Zellen elektrisch neutral ist, während die Spannung im Inneren minus 70 Millivolt beträgt. Der Grund für diese Spannungsdifferenz liegt darin, dass die Zellmembran positiv geladene Kalium-Ionen ungehindert passieren lässt, während die negativ geladenen Ionen im Zellinneren zurückgehalten werden.

Ein Aktionspotenzial, also das elektrische Signal der Zelle, entsteht immer nur dann, wenn die Ionen-Kanäle ihre Durchlässigkeit ändern. Nimmt die normale Spannung der Zellmembran ein wenig ab, dann öffnen sich die Natrium-Kanäle und die elektrische Spannung der Membran schnell auf 50 Millivolt – es entsteht also ein Spannungssprung von etwa 120 Millivolt. Das ist das Aktionspotenzial. Dieses wandert durch die Nervenzelle bis zu deren Ende. Wenn die Natrium-Kanäle offen sind, öffnen sich auch die normalerweise geschlossenen Kalium-Kanäle. Kalium-Ionen wandern aus der Zelle hinaus, die Spannung ändert sich und es entsteht das sogenannte Nachpotenzial. Wenn das abgeklungen ist, kehrt die Membran zu ihrem Ruhepotenzial zurück. Dann kann das elektrische Spiel von vorne beginnen und die Zelle ein neues Aktionspotenzial abfeuern.



An der Kontaktstelle zwischen zwei Nervenzellen, der Synapse, sorgen Botenstoffe dafür, dass ein elektrisches Signal weitergeleitet wird.

Diese Ionen-Kanäle sind enorm wichtig. Viele Krankheiten entstehen, weil es Fehler im Erbgut gibt und die Kanäle gewissermaßen verstopft oder ständig geöffnet sind. Als Folge funktioniert das grundlegende Signalsystem in bestimmten Teilen des Nervensystems nicht mehr. Das passiert zum Beispiel bei der Myotonie, einer Form von Muskelschwäche, bei der Menschen unter Lähmungen leiden, weil die Ionen-Kanäle der Nervenzellen in ihren Skelettmuskeln nicht richtig arbeiten. Auch manche Formen von Epilepsie treten auf, weil die Betroffenen eine Veränderung in ihren Genen haben. Diese Mutation bewirkt, dass die Natrium-Kanäle überreagieren und zu viele elektrische Signale von einer Nervenzelle zur nächsten wandern.

Nahrungsmittel können ebenfalls die Arbeit der Ionen-Kanäle stören. Ein eindrucksvolles Beispiel, was passiert, wenn etwa Natrium-Kanäle verstopft sind, ist eine Vergiftung mit Tetrodotoxin. Das Gift kommt im Körper der japanischen Kugelfische vor, die in Fernost als besondere Delikatesse gelten, deren Verzehr allerdings Glückssache ist. Wenn der Fisch nicht richtig zubereitet wird, kann es passieren, dass etwas Tetrodotoxin mit auf den Teller kommt. Innerhalb von Sekunden blockiert das Gift die Natrium-Kanäle

und verhindert, dass elektrische Signale weitergeleitet werden. Eine Atemlähmung ist die Folge – und der unweigerliche Tod. Jedes Jahr sterben ein paar Menschen an einer Vergiftung durch den Kugelfisch.

Abgesehen von dem Zellkörper mit den überlebenswichtigen Ionen-Kanälen besitzt ein Neuron eine Art Eingang und Ausgang. Auf der einen Seite gibt es die buschartigen Dendriten. Das sind kurze, verzweigte Fasern, die die Signale anderer Neuronen empfangen. Auf der anderen Seite des Zellkörpers befindet sich eine lange Faser, das Axon. Wenn eine Nervenzelle mit einer anderen kommuniziert, dann empfangen ihre Dendriten die Signale, und ihr Axon sendet seinerseits eine Botschaft aus. Diese Botschaft wird von den Dendriten der anderen Zelle registriert und so entsteht ein ständiges Nervengemurmel.

Um aber überhaupt kommunizieren zu können, müssen die Zellen Kontakte knüpfen. Die Neuronen haben auf ihren Dendriten zahlreiche kleine Knospen sitzen, häufig mehrere Zehntausend. An diese Knospen haften sich die Endstücke der Axone anderer Zellen. Diese Kontaktstellen heißen Synapsen. Das Wort stammt vom griechischen *sunaptein*, was so viel heißt wie sich verbinden.

Wann auch immer unser Nervensystem aktiv ist – ob wir einen Film ansehen, uns mit Freunden unterhalten, einen Berg besteigen oder uns verlieben –, kommunizieren unsere Nervenzellen mithilfe der Synapsen. Allein ein einziges Neuron im Gehirn von Säugetieren kann mehrere Tausend Synapsen besitzen, manche Nervenzellen haben sogar hunderttausend Kontaktstellen. Hochgerechnet auf die 100 Milliarden Zellen macht das schätzungsweise mindestens 100 Billionen Synapsen, eine unfassbar große Zahl. Sie erklärt, warum das Gehirn so unglaublich leistungsfähig ist.

Die Synapsen sind so etwas wie die Schalter des Gehirns. Sie leiten Signale weiter oder bremsen sie ab. Der Clou dabei: Synapsen können ihre Übertragungsstärke verändern. Diese Fähigkeit, sich zu verändern – Fachleute sprechen auch von Plastizität –, ist ganz wesentlich. Denn nur weil Synapsen plastisch sind, kann das Gehirn überhaupt lernen und Informationen speichern.

Wenn eine Zelle der anderen etwas mitteilen will, dann tut sie das in Form des Aktionspotenzials, das entlang des Axons zu dessen verzweigten Enden wandert. Hier trifft das elektrische Signal auf die Kontaktstellen der anderen Neuronen, und damit kommt die Chemie des Gehirns ins Spiel. Das elektrische Signal kann nämlich nicht einfach vom Ende des Axons der einen Zelle zu der Synapse, also dem Kontakt zwischen zwei Zellen, wandern. Zwischen den beiden liegt ein wenn auch nur einige Bruchteile eines tausendstel Millimeters breiter Spalt.

Wie schafft das Aktionspotenzial den Sprung über den Spalt? In die Membran der Synapse sind ähnlich wie bei dem Zellkörper Kanäle eingebaut, durch die elektrisch geladene Atome wandern können. Wenn der elektrische Impuls an der Synapse ankommt, bewirkt er, dass die Kalzium-Kanäle sich öffnen und die positiv geladenen Kalzium-Ionen freigesetzt werden. Damit ändert sich die Spannung der Membran und kleine, mit

Chemikalien gefüllte Bläschen öffnen sich. Diese chemischen Botenstoffe, auch Neurotransmitter genannt, können den Zwischenraum überqueren.

Auf der anderen Seite treffen sie auf spezielle Rezeptoren, Moleküle also, an denen sich die Neurotransmitter festhaken können. Das Ganze funktioniert nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Wenn mehrere Botenmoleküle das richtige Schloss gefunden haben, öffnen sich die Natrium-Kanäle und es ändert sich die elektrische Spannung der Membran. Das Neuron, dessen Dendriten den Kontakt auf der anderen Seite der Synapse bilden, kann dann wieder einen Impuls feuern und damit das elektrische Signal weiterleiten.

Das klingt, als ob die synaptische Übertragung ein ziemlich langsamer Prozess sei: Ein Aktionspotenzial kommt am Ende der Nervenfasern an, Kalzium-Ionen strömen ein, der Neurotransmitter wird in den Spalt abgegeben, wandert zur anderen Seite und dockt dort an die Rezeptoren an. Daraufhin öffnen sich in der Membran der angesteuerten Nervenzelle die Natrium-Kanäle und lassen Natrium-Ionen einströmen. Die elektrische Spannung der Membran sinkt. Tatsächlich läuft dieser Vorgang ziemlich schnell ab. Von der Ankunft des Aktionspotenzials an der Synapse bis zur erneuten Erzeugung eines Aktionspotenzials auf der anderen Seite des Spaltes vergeht typischerweise nur ein fünfteil Millisekunde. Die chemische Synapse überträgt Signale also schnell und vor allem sehr genau, weil über die kurze Entfernung des Spaltes keine Information verloren geht.

Wenn elektrische Signale nur einfach weitergeleitet würden, wäre das Gehirn keine besonders ausgeklügelte Rechenmaschine. Dann könnte es letztlich nur Botschaften addieren. Allerdings können die Synapsen die Nervensignale entweder verstärken oder abschwächen. Man sagt auch, dass sie erregend oder hemmend beziehungsweise exzitatorisch und inhibitorisch wirken. Jede Synapse hat entweder die eine oder die andere Eigenschaft, sie bremst ein Signal oder leitet es weiter.

Die erregende Synapse funktioniert so wie oben geschildert. Sie bewirkt, dass die Membran elektrisch aktiv ist. Das eine Neuron regt dann gewissermaßen ein weiteres Neuron an, mit dem es verschaltet ist. Und dieses Neuron kann erneut ein Aktionspotenzial abgeben. Auf diese Weise wandert ein elektrisches Signal von einer Nervenzelle zur nächsten.

Bei einer hemmenden Synapse strömen – genauso wie bei der erregenden Synapse – die positiv geladenen Kalzium-Ionen ein und bewirken, dass Botenstoffe freigesetzt werden. Diese Botenstoffe sind aber andere als die in der erregenden Synapse, sie sind hemmende Botenstoffe. Wenn sie ihre Andockstellen gefunden haben, öffnen sich daher auch andere Kanäle als bei der erregenden Synapse. Statt der Kalzium-Kanäle, die positiv geladene Teilchen freisetzen, öffnen sich im Fall der hemmenden Synapse Chlorid- oder Kalium-Kanäle. Die herausströmenden Ionen sind negativ geladen. Wenn sie in die Zelle einwandern, fällt die elektrische Spannung der Membran ab. Damit sinkt auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Zelle hinter der Synapse ein Aktionspotenzial feuern kann. Das Aktionspotenzial, das von der Nervenzelle vor der hemmenden Synapse ausging, ist also gewissermaßen abgebremst worden, weil diese Synapse die elektrische Aktivität drosselt.