

Abb. 9.3 Der Spannungsverlauf an der Zellmembran bei Ablauf eines Aktionspotentials.

Prinzip und sind mit kurzen, blitzartigen elektrischen Impulsen vergleichbar. Die Information auf der Ausgangsseite des Neurons hat eine große Ähnlichkeit mit der digitalen Technik, wie sie in Computern Anwendung findet. Auch dort gibt es nur zwei Schaltzustände: Ein oder Aus (= Alles oder Nichts). Wenn das Aktionspotential an den Synapsen der axonalen Endknöpfe angelangt ist, dann aktivieren diese Synapsen die Eingangsseite des nächsten Neurons.

Digitale Reizleitung der Neuronen

Der Grund für die umständliche Umformung von der fein abgestuften Signalform der Eingangsseite eines Neurons in die **digitale Ein- oder Aus-Signalform** der Ausgangsseite liegt in den unterschiedlichen Aufgaben, die diesen beiden Zellabschnitten zukommen: Die Eingangsseite muss meist viele eingehende Signale zusammenführen und verarbeiten (integrieren). Dazu eignen sich fein abstuftbare Signale am besten. Die Aufgabe der Ausgangsseite hingegen ist es, die Signale z.T. über sehr weite Strecken sicher zu übertragen. Dazu eignen sich „primitive“ Ein- oder Aus-Signale wie die Aktionspotentiale sehr gut, weil diese Art der Information sehr sicher auch über weite Entfernung übertragen werden kann. Ein anderes Beispiel mag dies zusätzlich illustrieren: Will man sich von einem Berggipfel zum anderen verständigen, eignen sich dazu Rauchzeichen (= Ein-Aus-Signal) viel besser als die fein abstuftbare menschliche Stimme.

9.2.2 Ruhepotential

Damit ein Neuron Informationen in elektrische Impulse übersetzen kann, braucht es mindestens zwei verschiedene Zustände: einen Ruhezustand („Aus“) und einen Aktionszustand („Ein“). Dem Ruhezustand entspricht bei der Nervenzelle das **Ruhepotential**. Im Ruhezustand ist das Membranpotential keineswegs aufgehoben („Null“), sondern es besteht an der Plasmamembran des Neurons eine Spannung von

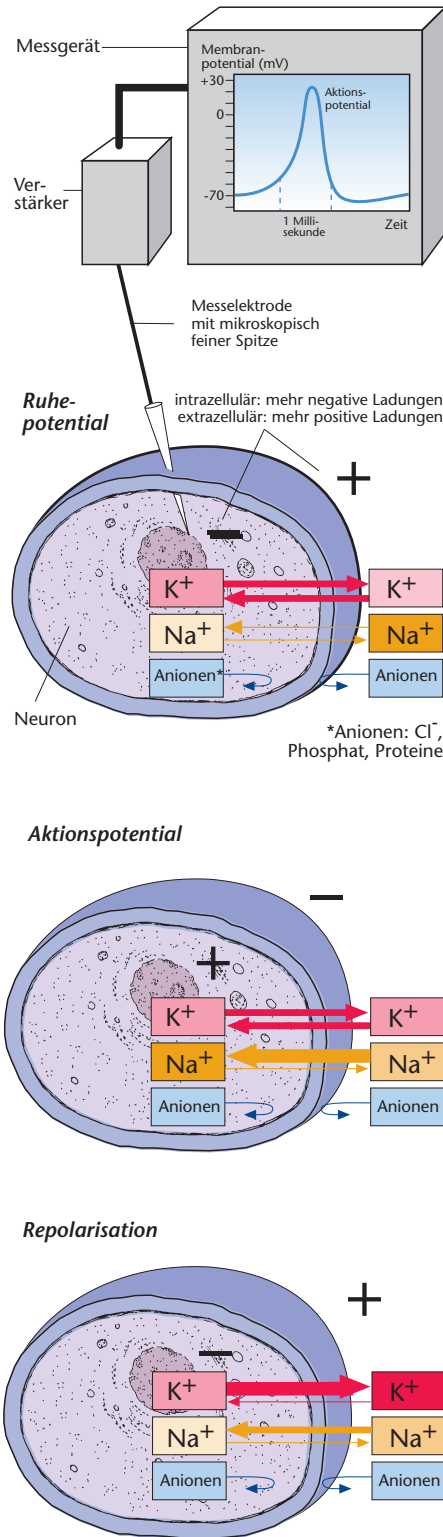


Abb. 9.4 Ladungsverschiebung an der Zellmembran eines Neurons im Verlauf eines Aktionspotentials. Während des Ruhepotentials (-70 mV) ist das Zellinnere negativ gegenüber dem Außenraum geladen. Das Ruhepotential ist vorwiegend ein Kaliumdiffusionspotential. Durch Öffnung der Natriumkanäle strömt Na⁺ in die Zelle hinein, führt zur Ladungsumkehr und Bildung eines Aktionspotentials. Am Höhepunkt dieser Ladungsumkehr nimmt die Membranleitfähigkeit für Na⁺ plötzlich wieder ab. Gleichzeitig kommt es zu einem verstärkten Kaliumausstrom: Die Ladungsverhältnisse kehren sich wieder um (Repolarisation).

etwa 70 mV (Millivolt oder Volt = Maßeinheit der Spannung; handelsübliche Batterie = 1,5 V = 1 500 mV), wobei das Zellinnere gegenüber dem Extrazel-

lulärraum negativ geladen ist (man schreibt deshalb -70 mV). Dieses Membranpotential wird durch unterschiedliche Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb der Zelle aufrechterhalten (> Abb. 9.4).

Wie in > Kap. 3 bereits besprochen, sind in allen Zellen die einzelnen Ionen sehr ungleich zwischen Intra- und Extrazellulärraum verteilt (> Abb. 3.20). Durch diese Konzentrationsunterschiede entstehen Diffusionskräfte, die z.B. Kaliumionen (K⁺) durch die Zellmembran nach außen und Natriumionen (Na⁺) ins Zellinnere hineintreiben (sofern die Zellmembran für die genannten Ionen zumindest minimal durchlässig ist).

In diesem Punkt unterscheiden sich Neurone von anderen Zellarten, die für Ionen viel weniger durchlässig sind. Im Ruhezustand sind Neurone etwa 10-mal durchlässiger für Kaliumionen als für Natriumionen. Für negativ geladene Phosphationen und Eiweiße im Zellinneren ist die Neuronenmembran nicht durchlässig.

Die vergleichsweise hohe Durchlässigkeit (oder auch Leitfähigkeit) für Kaliumionen lässt infolge der Diffusionskraft positiv geladene Kaliumionen durch die Zellmembran nach außen strömen, sodass sich dort positive Ladungen anhäufen. Im Zellinneren dagegen entsteht ein Mangel an positiven Teilchen, sodass dort die negative Ladung überwiegt: Eine elektrische Ladungsdifferenz, das Ruhe(membran)potential, ist entstanden. Es beträgt etwa 70 mV (Millivolt).

Der Ausstrom von Kaliumionen im Ruhezustand begrenzt sich allerdings selbst. Der zunehmend negative Ladungsüberschuss an der Innenseite der Zellmembran wirkt schließlich einem weiteren Ausstrom von Kaliumionen entgegen, da mit steigendem elektrischen Ungleichgewicht ein Kaliumionen-Rückstrom einsetzt. Schließlich stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem der Kaliumausstrom genauso groß ist wie der Kaliumeinstrom, das sog. **Gleichgewichtspotential**.

MERKE Ruhepotential

Das Ruhepotential ist vor allem ein **Kaliumdiffusionspotential**.

9.2.3 Generatorpotential

Wie in > Kap. 9.2.1 beschrieben, wird immer dann ein Aktionspotential ausgelöst, wenn das Membranpotential einen bestimmten Wert – den Schwellenwert – erreicht. Wie kommt es dazu? Wenn die Synapsen (> Abb. 9.5), die sich auf den Dendriten und dem Nucleus befinden, aktiv werden, ändern sie das Membranpotential ihrer Empfängerzelle. Manche Synapsen können das Ruhepotential abschwächen (**Depolarisation**), andere können es verstärken, also weiter absenken (**Hyperpolarisation**). Die meisten Neurone haben beide Typen von Synapsen auf ihrem Dendritenbaum, und fast immer werden – wenn die Eingangssynapsen aktiv sind – beide Typen mehr oder weniger gleichzeitig aktiviert. Nur wenn der Effekt überwiegend in Richtung Depolarisation geht, kann es zur Auslösung eines Aktionspotentials kommen. Solange das Nettomembranpotential noch nicht den Schwellenwert erreicht hat, spricht man vom **Generatorpotential**.