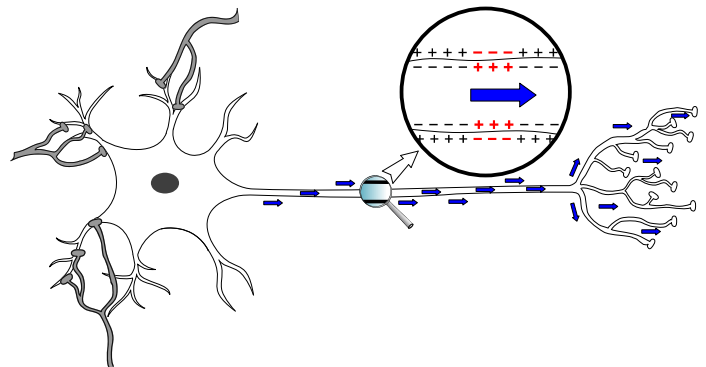


**1. Überblick**

Auf der dendritischen Seite der Neuronen kann es bei entsprechenden Signalen durch die vorangegangene Nervenzelle oder durch eine Sinneszelle zur Öffnung von Ionenkanälen kommen. Positiv geladene  $\text{Na}^+$ -Ionen strömen dort in die Zelle und erhöhen das Membranpotential, das im Ruhezustand z.B. -70 mV beträgt, auf positivere Werte. Es kommt also zur **Depolarisation**. Je nach Reizintensität können sich diese Depolarisationen bis zum **Axonhügel** ausbreiten. Erst dort entscheidet sich, ob das Signal in Form eines **Aktionspotentials** an die nächste Zelle weiter geleitet wird. Ist dies der Fall, kommt es zu einer lawinenartigen Veränderung des Potentials. Sie bewegt sich durch das ganze Axon bis zu den Synapsen fort. Beim Aktionspotential kommt es sogar kurzfristig zur Umpolarisation: Das Potential auf der Cytoplasmaseite wird kurzfristig sogar positiv, das Potential außerhalb negativ (vgl. Abb. 1.1). Anschließend kommt es durch

eine Repolarisation zur Herstellung der ursprünglichen Verhältnisse.



**Abb. 1.1:** Ausbreitung des Aktionspotentials. Markieren Sie die dendritische Seite und den Axonhügel! Q: e.w.

**1.1** Bei der Entstehung eines Aktionspotentials gilt das **Alles-oder-Nichts-Gesetz**, das in folgender Abbildung dargestellt ist. Analysieren und interpretieren Sie die Abbildung und gehen Sie dabei auf diese Bezeichnung ein.

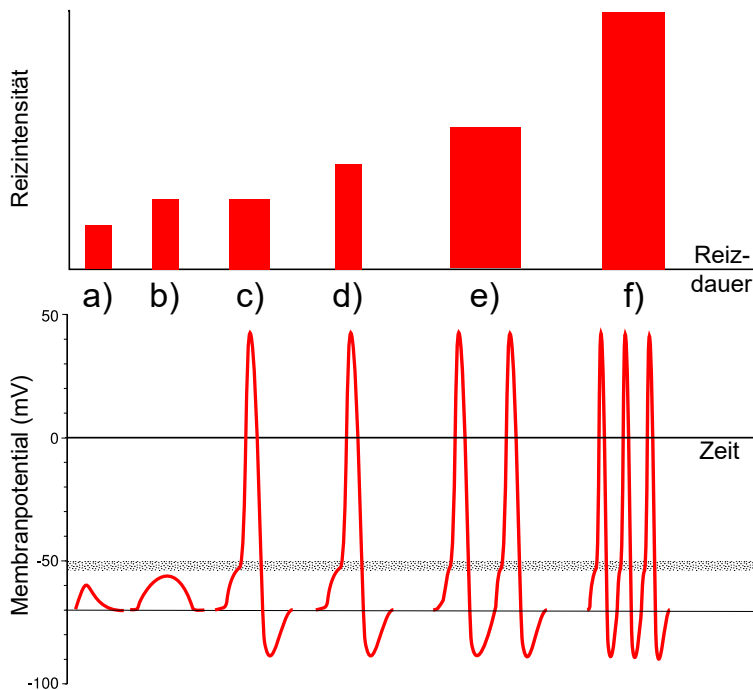


Abb. 2.1: Entstehung von Aktionspotentialen. Q: e.w.

**2. Bildung des Aktionspotentials**

Voraussetzung für die Ausbildung eines Aktionspotentials ist die spezifische Ausstattung der Axonmembran mit verschiedenen **spannungsgesteuerten Ionenkanälen**. Je nach Typ öffnen sie sich mit einer bestimmten Trägheit, wenn das Potential einen bestimmten **Schwellenwert** überschreitet, d.h. beispielsweise das Potential von -70 mV auf -55 mV angehoben wird. Das Öffnen beruht darauf, dass sich die Form der Proteinmoleküle, die den Kanal aufbauen, von der umgebenden Ladung abhängt. Ändert sich die Ladung, führt die Formänderung der

Moleküle zur Öffnung der Kanäle. Diese ist jedoch nur vorübergehend und nach wenigen Millisekunden kommt es zu einem selbsttätigen Verschluss.

**Spannungsgesteuerte  $\text{Na}^+$ -Ionenkanäle** finden sich am gesamten Axon. Eine Depolarisation, die sich bis zum Axonhügel ausgebreitet hat, kann dort, wenn sie einen Schwellenwert von ca. -55 mV übersteigt, zur kurzzeitigen Öffnung einiger dieser Kanäle führen.  $\text{Na}^+$ -Ionen strömen deshalb, ihrem Konzentrationsgradienten folgend, von außen in das Zellinnere und depola-

risieren die Membran an dieser Stelle. Dadurch werden weitere dieser spannungsempfindlichen  $\text{Na}^+$ -Ionenkanäle geöffnet und noch mehr Ionen können einströmen. Die *positive Rückkopplung* führt zu einem sich selbst verstärkenden  $\text{Na}^+$ -Einstrom. Es kommt dabei kurzzeitig sogar zum **Overshoot**. Damit ist die kurzzeitige Ladungsumkehr gemeint, denn das Membranpotential ist in diesem Zeitraum durch die eingeströmten  $\text{Na}^+$ -Ionen innen gegenüber dem Außenpotential sogar positiv. Noch bevor das Potentialmaximum im **Overshoot** erreicht ist, schließen sich die erste spannungsabhängigen  $\text{Na}^+$ -Kanäle nach ca. 2 Millisekunden wieder von selbst.

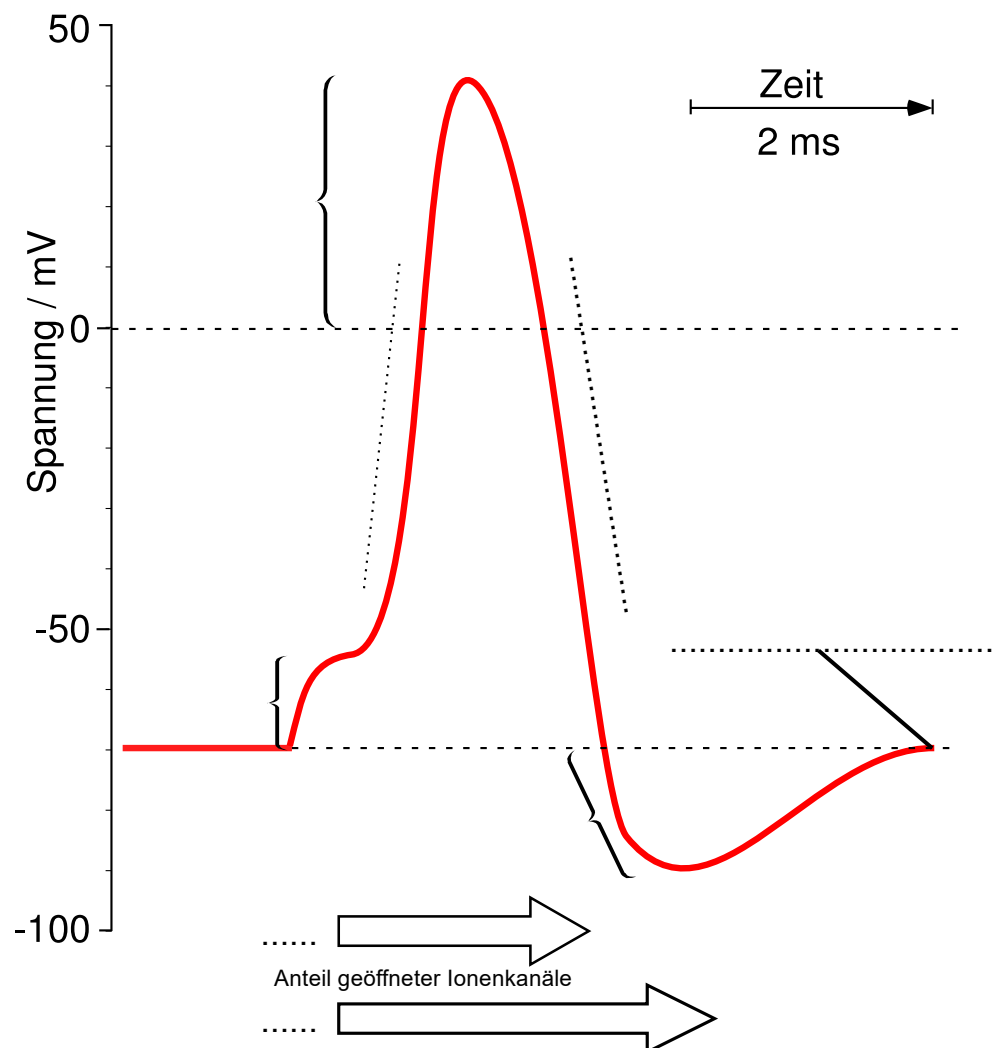
Bei einem ähnlichen Schwellwert wie die *spannungsabhängigen  $\text{Na}^+$ -Kanäle* (-55 mV) kommt es auch zur kurzzeitigen Öffnung **spannungsabhängiger  $\text{K}^+$ -Ionenkanäle**. Diese Veränderung der Molekülform dieser Proteine und die Freigabe des Kanals erfolgt hier jedoch mit größerer Trägheit. Anfänglich überwiegt deshalb  $\text{Na}^+$ -Einstrom. Erst bei Überschreitung des Potentialmaximums sind so viele  $\text{K}^+$ -Ionenkanäle geöffnet, dass der  $\text{K}^+$ -Ionen-Ausstrom zu einer **Repolarisation** führt. Auch das spontane Schließen der *spannungsabhängigen  $\text{K}^+$ -Ionenkanäle* erfolgt mit

großer Trägheit. So kommt es durch den Ausstrom von  $\text{K}^+$ -Ionen kurzfristig sogar zu einer **Hyperpolarisation**. Das Potential wird negativer als das eigentliche Ruhepotential. Durch die Arbeit der **Natrium-Kalium-Pumpe** gleicht sich das Membranpotential wieder dem Ruhepotential an.

Durch ein einzelnes Aktionspotential werden die Ionenkonzentrationen außen und innen nur sehr geringfügig verändert. Der großen Vorrat an  $\text{Na}^+$ -Ionen außen und  $\text{K}^+$ -Ionen innen erlaubt es einer Nervenzelle sehr viele Aktionspotentiale in kurzer Zeit zu bilden. Allerdings können *spannungsabhängige Natriumkanäle*, nachdem sie sich wieder geschlossen haben, für eine gewisse Zeit (1-10 ms) nicht erneut öffnen, auch wenn das Schwellenpotential erreicht ist! An dieser Stelle der Membran kann also für eine gewisse Zeit kein neues Aktionspotential entstehen. Die Zeitdauer wird **Refraktärzeit** genannt. Die Refraktärzeit limitiert die maximale Anzahl auf ungefähr 500 Aktionspotentiale pro Sekunde.

Aktionspotentiale sind nicht auf Nervenzellen beschränkt. Auch andere erregbare Zellen zeigen solche lawinenartig ablaufende Potentialänderungen. Dazu gehören Pflanzenzellen, einzellige Tiere und auch Pilzzellen.

**2.1** Beschriften Sie das Aktionspotential an allen geschweiften Klammern und gepunkteten Linien. Beschriften Sie an den Pfeilen unten, welche Ionenkanäle jeweils dargestellt sind. Q: basierend auf Abb. aus wikicommons. A: Diberrri\_et\_al (verändert)



Lernvideo zur Wiederholung (9 min): <https://youtu.be/T-YQRCWnoJs>: Einzelne Aspekte sind etwas detaillierter dargestellt. Dafür bekommt man eine Vorstellung, wie die  $\text{Na}^+$ -Kanäle für eine bestimmte Zeit inaktiv fallen können.

