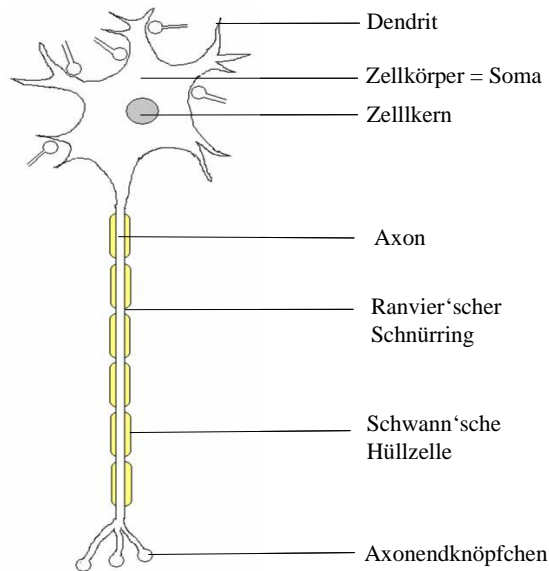


# Neurophysiologie

## 1 Bau von Nervenzellen

Die funktionelle Einheit des Nervensystems bezeichnet man als Nervenzelle.



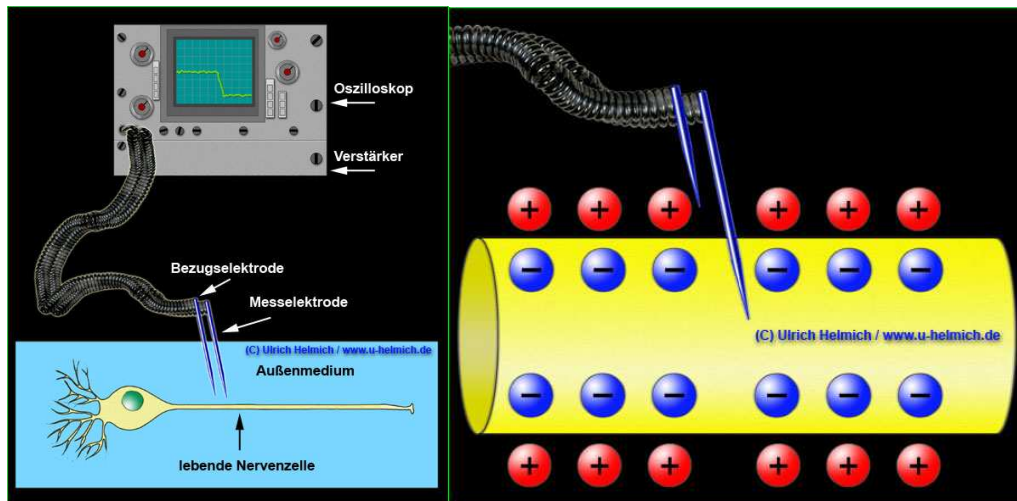
Man unterscheidet markhaltige von marklosen Nervenzellen. Im Gegensatz zu den markhaltigen Nervenzellen fehlt den marklosen die sogenannte Myelinscheide aus Schwann'schen Hüllzellen.

Markhaltige Nervenzellen treten nur bei Wirbeltieren auf!

## 2 Ruhepotenzial

### Befund 1:

Durch Messungen mit der Patch-Clamp-Technik ergibt sich ein Potenzialunterschied zwischen Innen- und Außenseite der Nervenzellmembran von  $-70 \text{ mV}^1$ .



Den Potenzialunterschied zwischen Zellinnerem einer Nervenzelle im nicht erregten Ruhezustand und der extrazellulären Flüssigkeit bezeichnet man als Ruhepotenzial.

### Befund 2:

Messungen ergeben folgende Ionenverteilung im Innern einer Nervenzelle und in ihrer Umgebung:

| Ion                          | Konzentration in mmol/L |           |
|------------------------------|-------------------------|-----------|
|                              | Außerhalb               | Innerhalb |
| $\text{K}^+$ -Kationen       | 5                       | 150       |
| $\text{Na}^+$ -Kationen      | 150                     | 15        |
| $\text{Cl}^-$ -Anionen       | 120                     | 10        |
| Protein-Anionen $\text{A}^-$ | 0                       | 100       |

Die Ursache für das Ruhepotenzial ist eine Ungleichverteilung von positiv und negativ geladenen Ionen.

### **Problem: Wodurch kommt die neg- Ladung im Zellinneren zustande?**

Die Zellmembran einer Nervenzelle enthält zahlreiche Tunnelproteine für  $\text{K}^+$  und  $\text{Cl}^-$  - Ionen und nur sehr wenige für  $\text{Na}^+$ -Ionen. Für negativ geladene Proteine ist die Zellmembran undurchlässig.

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.u-helmich.de/bio/neu/1/11/112/rp1121.html>

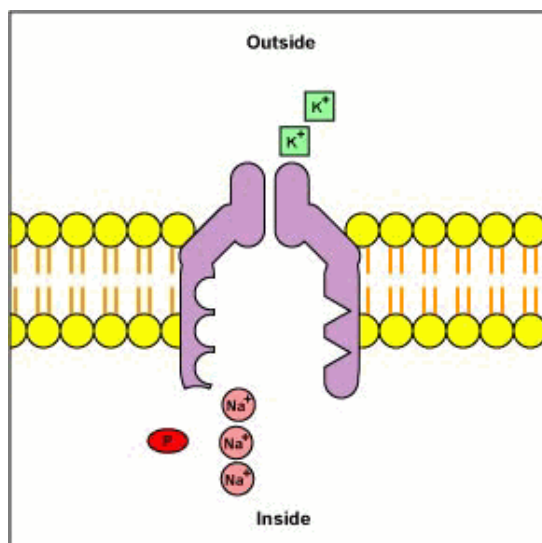
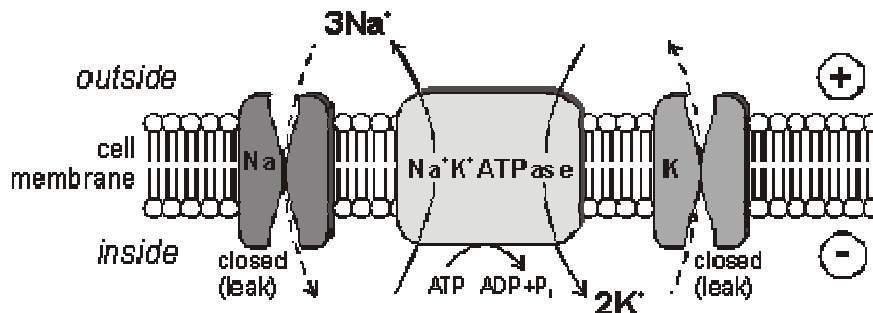
Durch den Konzentrationsunterschied strömen  $K^+$ -Ionen durch Tunnelproteine aus dem Zellplasma in die Umgebung der Nervenzelle. Dadurch lädt sich das Zellinnere negativ gegenüber der Umgebung auf und verhindert so ein weiteres Ausströmen der positiv geladenen  $K^+$ -Ionen.

***Ursache für das Ruhepotenzial von ca. -70 mV ist also eine Ungleichverteilung von Ionen.***

Durch die wenigen Natriumionen-Kanäle strömen aber auch  $Na^+$ -Ionen entlang des Konzentrationsgefälles in die Zelle (Leckströme). Dadurch wird die negative Ladung kleiner und weitere  $K^+$ -Ionen können ausströmen bis es zu einem völligen Konzentrationsausgleich käme.

***Problem: Wodurch wird die Ungleichverteilung der Ionen aufrecht erhalten?***

Natrium-Ionen müssen aktiv aus der Zelle hinaus transportiert werden durch die Natrium-Kalium-Pumpe<sup>2</sup>:

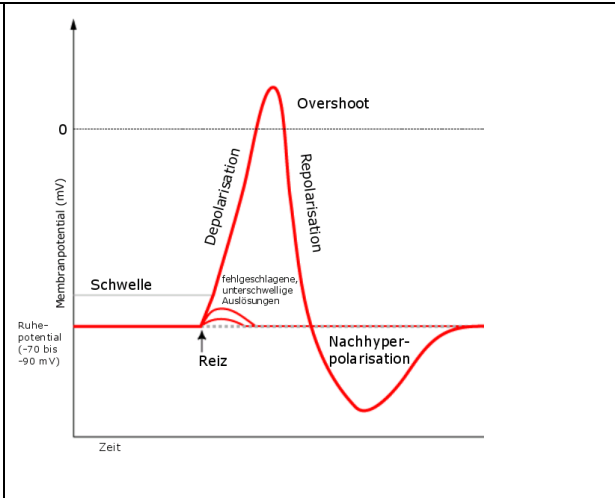


Drei Natrium-Ionen aus dem Inneren der Zelle binden zunächst an das Transportprotein. Durch die Spaltung von ATP verändert das Transportprotein seine Form so, dass die drei Natriumionen nach außen abgegeben werden. Gleichzeitig binden zwei Kalium-Ionen außerhalb der Zelle an das Transport-Protein. Durch Abspaltung der Phosphat-Gruppe, nimmt das Protein wieder seine ursprüngliche Form an und die Kalium-Ionen lösen sich im Innern der Zelle von dem Transportprotein ab.

<sup>2</sup> Quelle: <http://www.biologymad.com/NervousSystem/nerveimpulses.htm>

### 3 Aktionspotenziale

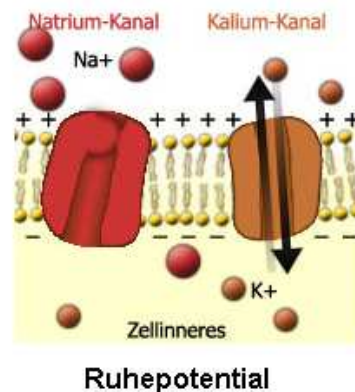
Das Ruhepotenzial einer Nervenzelle kann durch Einwirkung von elektrischen Reizen verändert werden. Wird ein Schwellenwert überschritten, treten im Axon der Nervenzelle rasch Änderungen des Membranpotenzials auf. Ein **Aktionspotenzial** wird ausgelöst, das Neuron wird erregt<sup>3</sup>:



Vorgänge auf Teilchenebene:

#### Ruhepotenzial

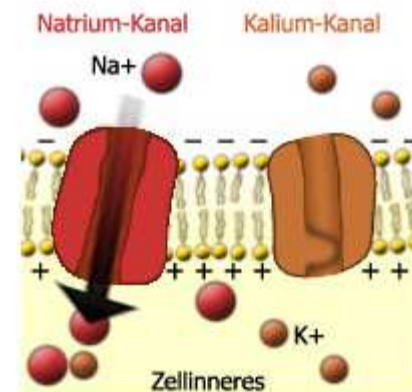
Spannungsabhängige Natrium-Kanäle sind geschlossen. Spannungsunabhängige Kalium-Kanäle sind offen → Ausstrom von Kalium-Ionen führt zu einem negativ geladenen Zellinneren.



Ruhepotential

#### Depolarisation

Veränderung des Potentials über Schwellenwert → Öffnung der spannungsgesteuerten Natrium-Kanäle → Einstrom von Natrium-Ionen → positiver Ladungsüberschuss auf +30mV

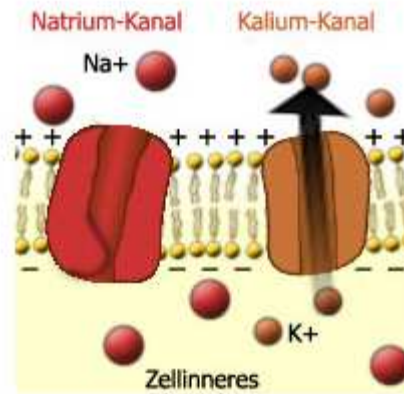


Depolarisation

<sup>3</sup> <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/archive/2/2e/20050613222410!Aktionspotenzial.png>

### Repolarisation

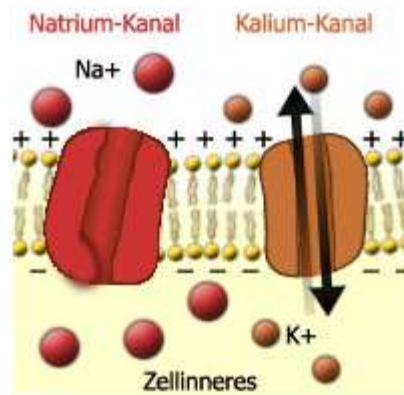
Nach 1-2ms schließen sich die spannungsabhängigen Natriumkanäle → kein weiterer Einstrom von Natrium-Ionen  
Kalium-Kanäle sind geöffnet → rascher Ausstrom von Kalium-Ionen → Membranpotenzial wird kleiner



Repolarisation

### Hyperpolarisation

Spannung sinkt durch den Ausstrom der Kalium-Ionen unter den Wert des Ruhepotenzials → Natrium-Kalium-Pumpe transportiert Kalium-Ionen aktiv unter ATP-Verbrauch zurück ins Innere → Ruhepotenzial stellt sich wieder ein.

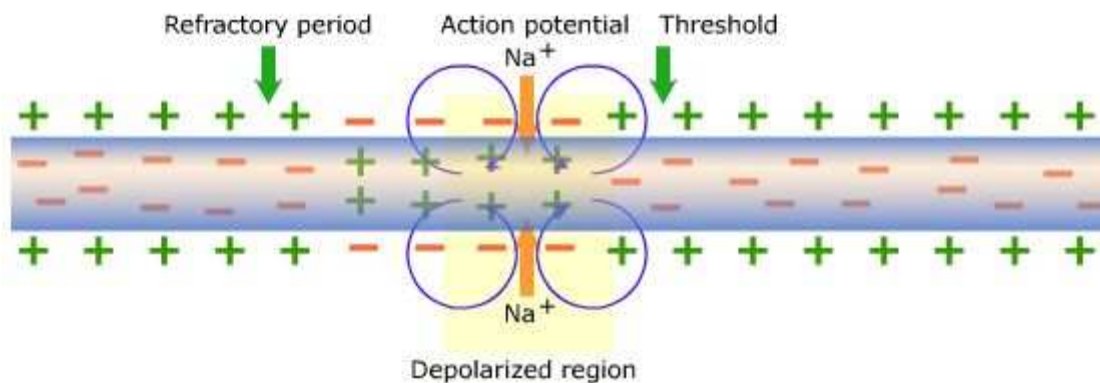


Hyperpolarisation

Die spannungsgesteuerten Natriumkanäle lassen sich 1-2ms lang nach ihrer Öffnung nicht aktivieren, d. h. in dieser Zeit kann kein weiteres APot ausgelöst werden → **absolute Refraktärzeit.**

## 4 Erregungsleitung

Wird an einem Axon ein APot ausgelöst, ist das Zelläußere in dieser Region negativ, das Innere positiv geladen. Im nicht erregten Bereich daneben verhält es sich genau umgekehrt<sup>4</sup>:

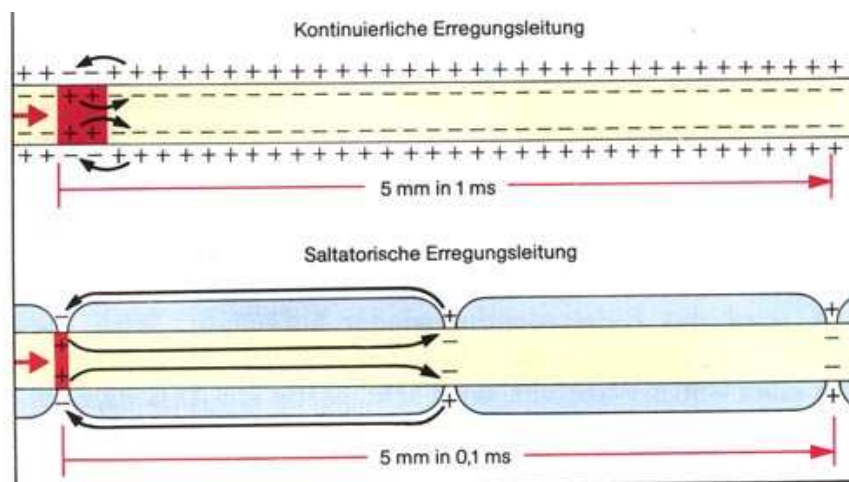


Durch den Ladungsunterschied wandern auf der Außenseite positiv geladene Ionen in Richtung der erregten Region und im Innern des Axons negativ geladene Ionen. Die Umgebung der erregten Axon-Region wird überschwellig depolarisiert und erneut ein APot ausgelöst.

*Problem: Warum verläuft die Erregungsleitung nur in einer Richtung?*

Durch die Refraktärzeit sind die spannungsabhängigen Na-Ionenkanäle auf einer Seite inaktiviert, so dass hier kein APot mehr ausgelöst werden kann. Somit erfolgt die Weiterleitung der Apote nur in einer Richtung!

Man unterscheidet *kontinuierliche* und *saltatorische Erregungsleitung*<sup>5</sup>:



<sup>4</sup> <http://www.gym-nw.org/media/kraft/conti.jpg>

<sup>5</sup> <http://www.bio.vobs.at/physiologie/a-neuro1-06.jpg>

***kontinuierliche Erregungsleitung***

- nur an marklosen Nervenzellen ohne Myelinscheide (Schwann'sche Hüllzellen)
- langsamer, da für die gleiche Wegstrecke mehr APote ausgelöst werden

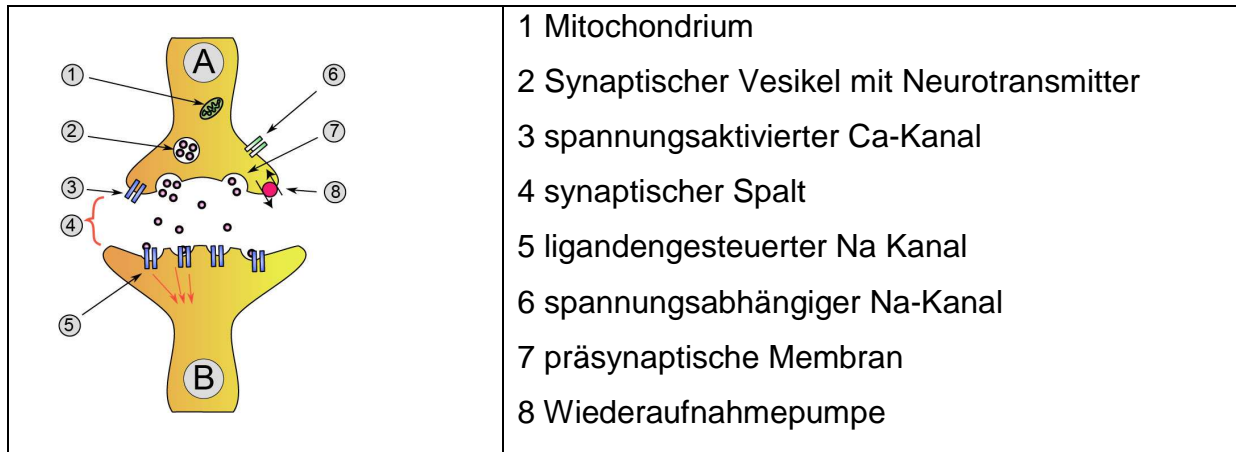
***saltatorische Erregungsleitung***

- nur an markhaltigen Nervenzellen mit Myelinscheide (Schwann'sche Hüllzellen)
- schneller, da Apote nur an den Ranvier'schen Schnürringen ausgelöst werden
- depolarisierende Wirkung eines Apots muss mindestens soweit reichen, dass die Region am nächsten Ranvier'schen Schnürring überschwellig depolarisiert wird

## 5 Synapsen

Die Informationsübertragung zwischen zwei Nervenzellen oder zwischen einer Nervenzelle und einem Erfolgsorgan (z.B. Drüse, Muskel, ...) erfolgt durch Austausch von Botenstoffen an einer Synapse.

Aufbau einer Synapse:



Synapsen wandeln ein elektrisches Signal in ein chemisches Signal um.

Wirkungsweise:

1. Ausschüttung von Neurotransmitter-Molekülen (z.B. Acetylcholin, Serotonin, Noradrenalin, Dopamin) aus den synaptischen Vesikeln der präsynaptischen Membran in den synaptischen Spalt durch ein Apot.
2. Neurotransmitter binden an Rezeptoren auf der postsynaptischen Membran einer Zielzelle (z.B. Muskelzelle, Drüsenzelle, ...)
3. Öffnung von ligandenabhängigen Ionenkanälen
4. Einstrom von positiv geladenen Ionen in postsynaptische Zelle
5. Änderung des Membranpotentials der postsynaptischen Nervenzelle (Apot!)

*Was passiert mit den Neurotransmitter-Molekülen nach der Signalübertragung?*

Enzyme im synaptischen Spalt (z.B. Acetylcholinesterase) bauen die Neurotransmitter schnell wieder ab. Die ligandengesteuerten Ionenkanäle schließen sich und es kommt rasch zu einer Repolarisation der Membran

Bei einer Vielzahl von psychiatrischen und neurologischen Erkrankungen liegen Störungen der Neurotransmitter-Freisetzung vor. Zum Beispiel kann es zu Depression führen, wenn nicht genügend Serotonin gebildet oder ausgeschüttet wird.

Eine Vielzahl von Medikamenten oder Giftstoffen entfalten ihre Wirkung an den Synapsen. (Betablocker - Nikotin - Atropin bzw. Hyoscyamin - Parathion - Kokain und einige mehr)



