

Bevor wir ein Aktionspotential physikalische modellieren können, müssen wir zunächst das Auf- und Entladen eines Kondensators betrachten.

Beschreibe den Ladevorgang eines Kondensators.

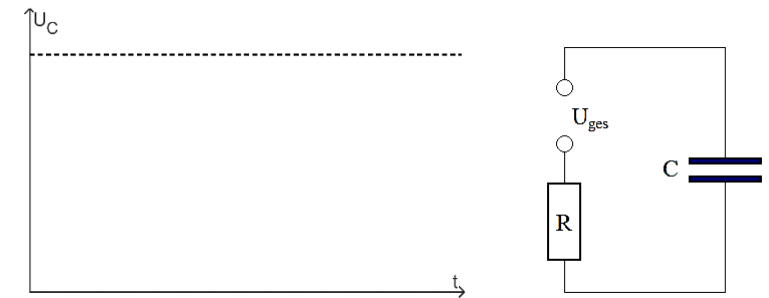
Die Formeln für das Aufladen und Entladen eines Kondensators entnehmen wir aus der Formelsammlung.

Nun wird die Spannungsquelle entfernt und der Kondensator kann sich über den Widerstand R entladen.

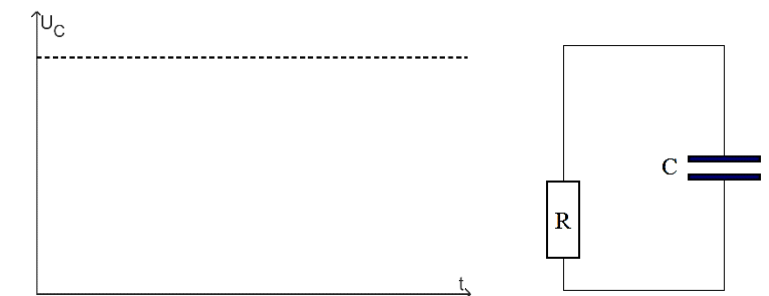
Beschreibe den Entladevorgang eines Kondensators.

5.4 Physikalisches Modell eines Neurons

Aufladen eines Kondensators



Entladen eines Kondensators



Nun soll ein physikalisches Modell mit einfachen Bauteilen entwickelt werden, mit dem man die Vorgänge an der Zellmembran beschreiben kann.

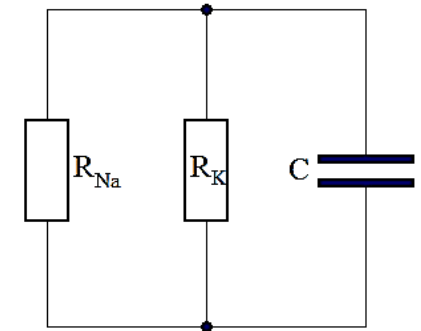
Ziel in der Schule ist es aber nicht, alle biologischen Details möglichst exakt im physikalischen Modell zu beschreiben. Vielmehr geht es darum, mit wenigen einfachen Bauteilen die wesentlichen Eigenschaften einer Nervenzelle zu simulieren.

Biophysikalische Modellierung eines Axonabschnitts

① Zellmembran → trennt unterschiedlich geladene Bereiche voneinander

② Ionenkanäle → K^+ – und Na^+ –Kanäle können unterschiedliche durchlässig sein

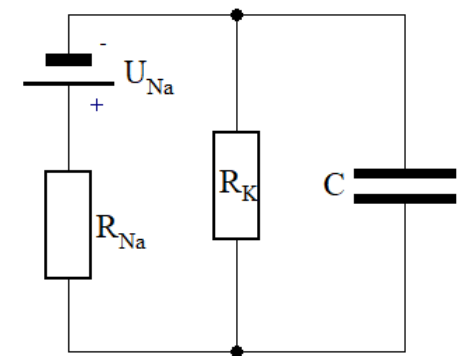
- Ruhepotential:
- Depolarisation:
- Repolarisation:



③ Natrium-Kalium-Pumpe → tauscht positive Ladungen gegen positive Ladungen aus

④ äußerer Reiz → Öffnung der Na^+ –Kanäle und Einstömen von Na^+ –Ionen

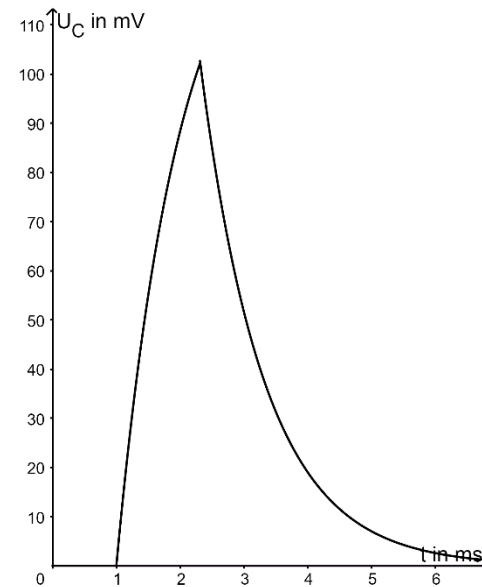
Im Ruhepotential ist der Kondensator ungeladen, die Spannung U_C an der Zellmembran ist also 0. Dies steht scheinbar im Widerspruch zur Realität, da die Spannung -70 mV beträgt. Für die Simulation eines Aktionspotentials ist dies aber nicht relevant, da hier lediglich die Spannungsänderung von Bedeutung ist.



Mit dem obigen Modell erhält man die abgebildete Kurve für die Spannung U_C an der Zellmembran. Diese kommt von der Form her einem Aktionspotential nahe, lediglich die Hyperpolarisation kann damit nicht dargestellt werden.

Beschreibe nun die einzelnen Phasen des modellierten Aktionspotentials.

Aktionspotential im Modell



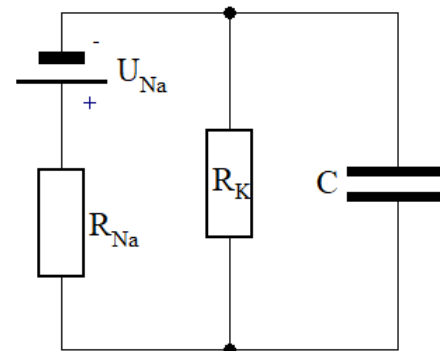
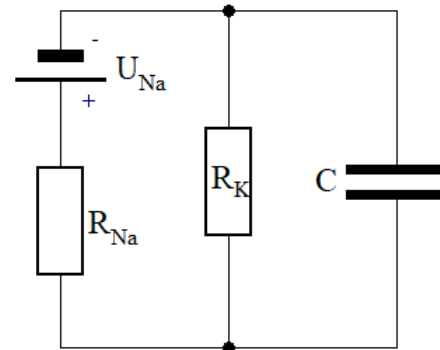
① Ruhepotential:

② Reiz:

③ Depolarisation:

④ Overshoot:

⑤ Repolarisation, Wiederherstellung des Ruhepotentials:



Hodgkin-Huxley-Modell:
Die britischen Physiologen und Biophysiker ALAN LLOYD HODGKIN (1914 – 1998) und ANDREW FIELDING HUXLEY (1917 – 2012) entwickelten ähnliches Modell, aber mit Einbeziehung der Natrium-Kalium-Pumpe sowie Leckströmen. Mit höherer Mathematik lässt sich damit ein Aktionspotential nahezu perfekt simulieren. Sie erhielten dafür 1963 den Nobelpreis für Medizin.

Übungsaufgabe: Elektrische Feldstärke an der Zellmembran •

a) Berechne die elektrische Feldstärke unter der Annahme, dass sich die Zellmembran als Plattenkondensator beschreiben lässt.

b) Bestimme die Spannung, die an einem Plattenkondensator mit Plattenabstand 5 cm angelegt werden muss, um dieselbe elektrische Feldstärke zu erreichen.

Im Ruhepotential liegt an der Zellmembran eine Spannung von 70 mV an, die Zellmembran hat im Mittel eine Dicke von 7 nm.

Übungsaufgabe: Entladen eines Kondensators ••

a) Leite eine Formel für die Zeit $T_{1/2}$ her, nach der Kondensator zur Hälfte entladen ist.

Hinweis: $\ln(u^v) = v \cdot \ln(u)$

b) Ein Kondensator wird über einen Widerstand $R = 700 \text{ k}\Omega$ in der Zeit $t = 68 \text{ ms}$ zu 75 % entladen. Berechne die Kapazität C des Kondensators.

Ein Kondensator mit der Kapazität C wird über einen Widerstand R entladen.