

Bitte schreiben Sie Ihre Antworten direkt auf das Übungsblatt. Falls Sie mehr Platz brauchen verweisen Sie auf Zusatzblätter. Vergessen Sie Ihren Namen nicht! Abgabe der Übung bis spätestens 21. 04. 08 - 16:30 Uhr. Bitte alle Blätter zusammenheften (keine Büroklammern!!) Jeder Student muss seine eigenen Lösungen abgeben!

Nervenzellen:

Das menschliche Gehirn enthält mehr als 10^{11} Nervenzellen. Jede dieser Nervenzellen ist durchschnittlich mit 1000 anderen Nervenzellen verbunden.

Die Nervenzellen besitzen die gleiche Grundstruktur wie alle Körperzellen. Dennoch gibt es Unterschiede: 1. Nach Abschluss der Gehirnwachstumsphase können sie sich nicht mehr teilen. 2. Sie haben besondere Zellfortsätze - Dendriten und Axone genannt, die mit anderen Nervenzellen Kontakt aufnehmen können. 3. Sie haben eine Zellmembran, die elektrische Signale erzeugt und mit Hilfe von Rezeptoren elektrische Signale empfangen kann.

Aufbau einer Nervenzelle:

Eine Nervenzelle besteht aus einem **Zellkörper** und **Zellfortsätzen** (Axon und Dendriten). Im Zellkörper befinden sich der Zellkern und die Zellorganellen.

Dendriten sind kurze, baumartig verzweigte Ausstülpungen des Cytoplasmas. Sie nehmen Erregungsimpulse aus benachbarten Zellen auf und leiten sie an den Zellkörper weiter.

Axone sind lange Ausstülpungen des Cytoplasma. Sie verbinden Nervenzellen über lange Distanzen und teilen sich am Ende in viele **Endverzweigungen** auf. Sie leiten elektrische Impulse zu angrenzenden Nerven- oder Muskelzellen. Axone können über einen Meter lang sein (z.B. vom Rückenmark zum Fuß).

An jeder Endverzweigung befindet sich eine **Synapse**. Synapsen sind spezialisierte Zellbereiche zur Kommunikation zwischen der Nervenzelle und der nachfolgenden Zelle. Synapsen enthalten viele Vesikel, welche mit Neurotransmittern (Nervenzellen-Signalmoleküle) gefüllt sind. Wenn ein Nervenimpuls die Synapse erreicht, entleert diese ihre Vesikel mit den Neurotransmitter und leitet damit das Signal weiter zur nächsten Zelle. Zwei Nervenzellen sind so miteinander verschaltet, dass jeweils die Synapse der einen an einen Dendriten einer nachfolgenden

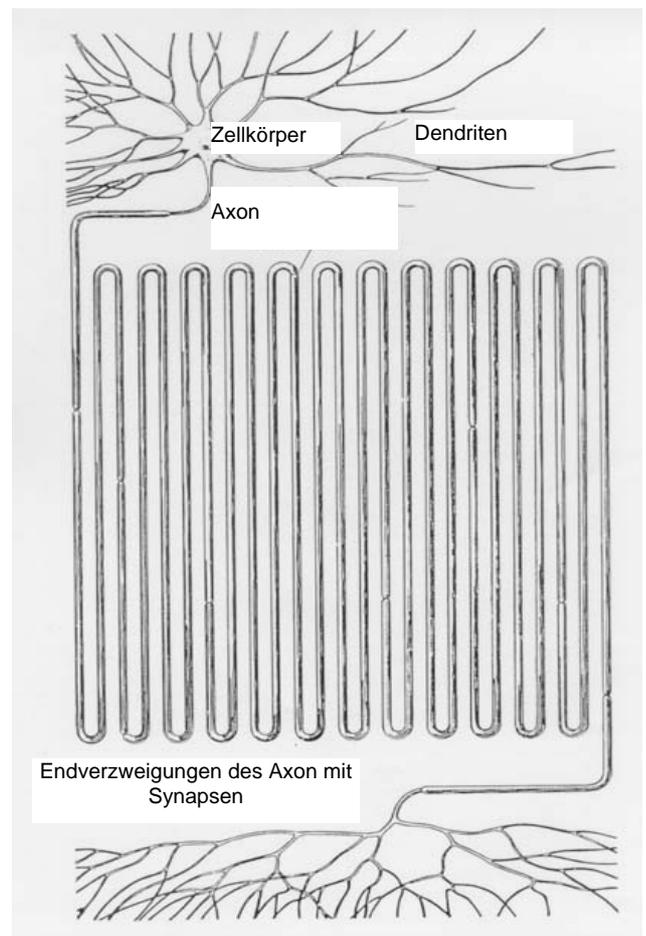


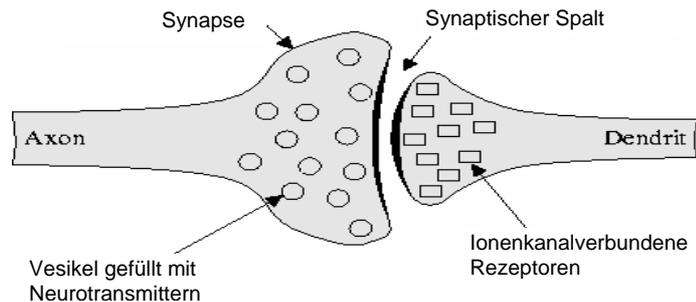
Abb. 1: Masstabgetreue Abbildung einer Nervenzelle

Nervenzelle grenzt. Die beiden Zellen sind nicht direkt miteinander verbunden, sie sind durch den **synaptischen Spalt** getrennt. Die Synapsen einer Nervenzelle können an Dendriten verschiedener Nervenzellen oder an Muskelzellen grenzen.

Abb. 2: Synapse

Hier ist die Verschaltung von zwei Nervenzellen schematisch dargestellt. Eine Synapse der vorangehenden Nervenzelle grenzt an den Dendriten der nachfolgenden.

Eine Synapse kann auch an eine Muskelzelle grenzen, dann löst sie eine Kontraktion dieser Zelle aus.



Membranpotential:

Wie alle lebenden Zellen besitzen auch die Nervenzellen ein Membran-Potential. (Siehe Abb. 4) Dieses Membranpotential wird aufrechterhalten durch die $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -Pumpe (siehe Abb. 3).

Das Membranpotential ist Grundvoraussetzung für die Leitung von Nervenimpulsen. Ist die Zelle in

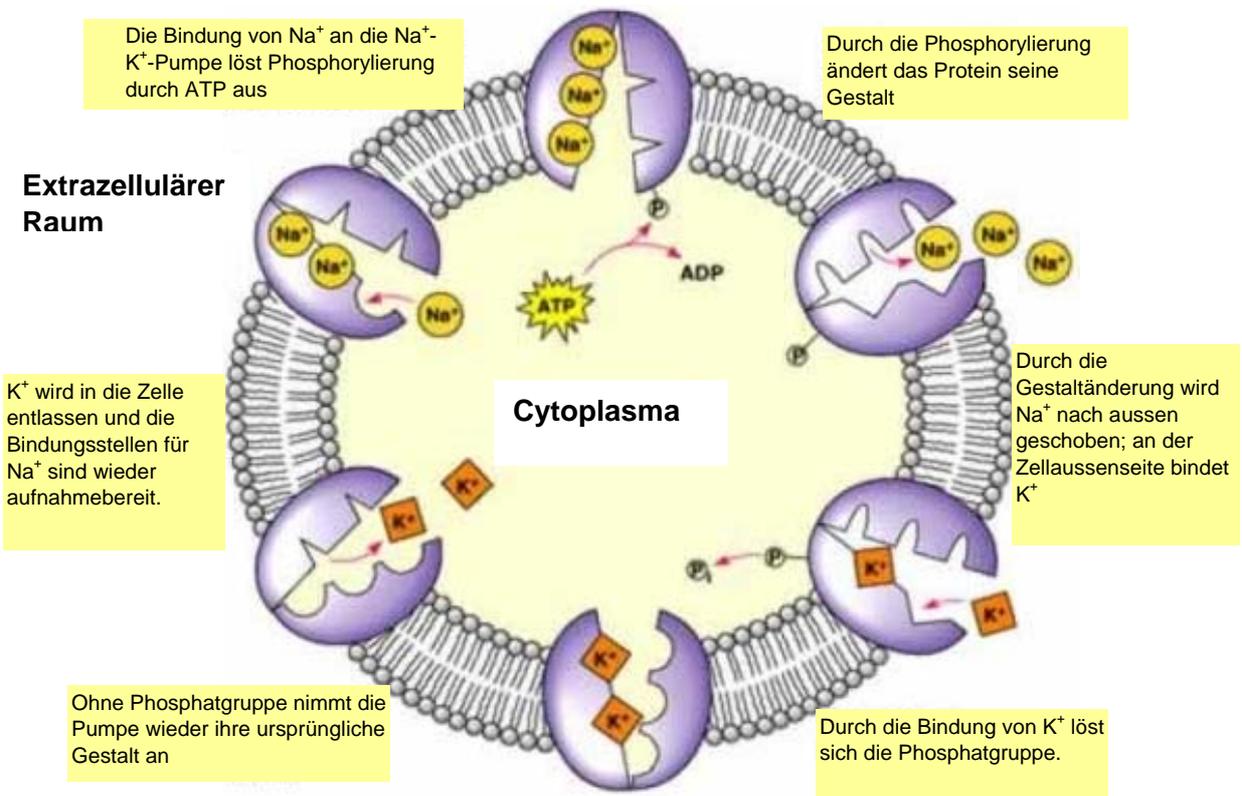


Abb. 3: Die $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -Pumpe

Ruhe beträgt ihr Membranpotential etwa -60 mV, man spricht vom **Ruhe-Potential** einer Nervenzelle.

Im Unterschied zu allen anderen Zellen sind Nervenzellen in der Lage, ihr Membran-Potential zu verändern. Eine Veränderung des Membran-Potentials führt zu einem Nervenimpuls. In der Membran einer Nervenzelle hat es viele **Ionenkanalverknüpfte-Rezeptoren**. Daneben enthält die Membran einer Nervenzelle auch **spannungsabhängige Ionenkanäle**. Diese reagieren auf einer Änderung des Membran-Potentials.

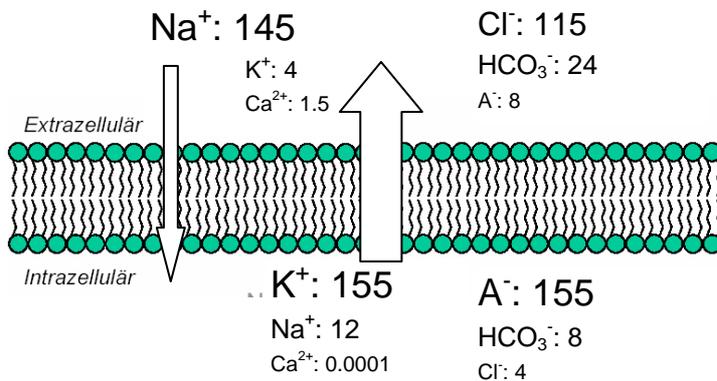
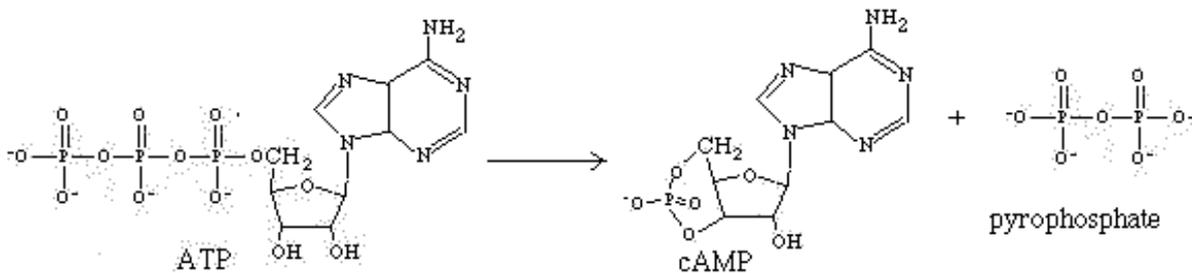


Abb. 4:

Die Na⁺-K⁺-Pumpe pumpt ständig Na⁺ aus und K⁺ in die Zelle. Es entstehen, wie die Abbildung zeigt, Konzentrationsunterschiede (Konzentrationsangaben jeweils in mMol pro Liter; A⁻ bezeichnet negativ geladene Proteine).

Auslösung einer Erregung: am Beispiel des Geruchsinn

Ein Geruchsstoff wirkt als Signalmolekül für einen **G-Proteinverknüpften-Rezeptor**. Das Enzym, das aktiviert wird heisst Adenylcyclase und wandelt ATP in cAMP um. cAMP ist ein intrazelluläres Signalmolekül, das an einen Ionenkanalverknüpften Rezeptor bindet.



Der Ionenkanal ist spezifisch für Na⁺ durchlässig. Aufgrund der Konzentrationsdifferenz von Na⁺ zwischen dem Zellinneren und dem Zelläusseren (siehe Abb. 4) strömt Na⁺ in die Zelle. Dadurch wird die Membran langsam **depolarisiert**, das heisst, das Membranpotential wird langsam positiver.

Nun kommen die spannungsabhängigen Ionenkanäle (im Folgenden als **Na⁺-Kanäle** und **K⁺-Kanäle** bezeichnet) zum Zug. Wenn die Membran ein bestimmtes **Schwellenpotential** erreicht hat (ca. -40mV), öffnen sich alle Na⁺-Kanäle auf einmal, und die Membran wird vollständig depolarisiert; es entsteht ein **Aktionspotential** (ca. +40mV). Ein Aktionspotential entsteht nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip. Das heisst, nur wenn ein Reiz (hier ein Geruchsstoff) lange genug oder intensiv genug vorhanden ist, wird die Membran bis zum Schwellenpotential depolarisiert. Dieses Alles-oder-nichts-

Prinzip funktioniert, weil die Na⁺-Kanalverbundenen Rezeptoren (die durch cAMP aktiviert wurden) schnell wieder inaktiviert werden, und die Membran nur dann vollständig depolarisiert wird, wenn das Schwellenpotential erreicht ist, und damit die Na⁺-Kanäle geöffnet werden.

Beim Erreichen des Schwellenpotentials öffnen sich zusammen mit den Na⁺-Kanälen auch K⁺-Kanäle, durch welche dann K⁺ nach aussen strömt (ausssen tiefere Konzentration von K⁺!). Die Na⁺-Kanäle werden schnell wieder geschlossen und sind für kurze Zeit nicht erregbar. Die K⁺-Kanäle hingegen werden erst mit einer Verzögerung wieder geschlossen. So gelingt es der Zelle, das Ruhepotential wieder herzustellen. Da die Na⁺-K⁺-Pumpe konstant Na⁺ aus und K⁺ in die Zelle pumpt, aber immer noch K⁺ aus der Zelle strömen kann, entsteht kurzzeitig ein negativeres Potential als das Ruhepotential. Man nennt dieses ein **Nachpotential**.

Weiterleitung eines Aktionspotentials:

Alle Reize, die eine Nervenzelle erhält, sammeln sich am Beginn des Axons. Sind die Reize intensiv genug (siehe oben), entsteht ein Aktionspotential. Dieses muss nun an weitere Zellen übermittelt werden. Dazu wird es über das Axon zu benachbarten Nerven- oder Muskelzellen geleitet.

Das Aktionspotential wird weitergeleitet, indem einströmendes Na⁺ die Membran depolarisiert und dadurch nahe gelegene Na⁺-Kanäle öffnet. Durch diese strömt erneut Na⁺ ein, welches wiederum die nächsten Na⁺-Kanäle öffnet usw. Da die Na⁺-Kanäle schnell wieder geschlossen werden und nicht sofort wieder erregbar sind, kann das Signal nur in eine Richtung weitergeleitet werden.

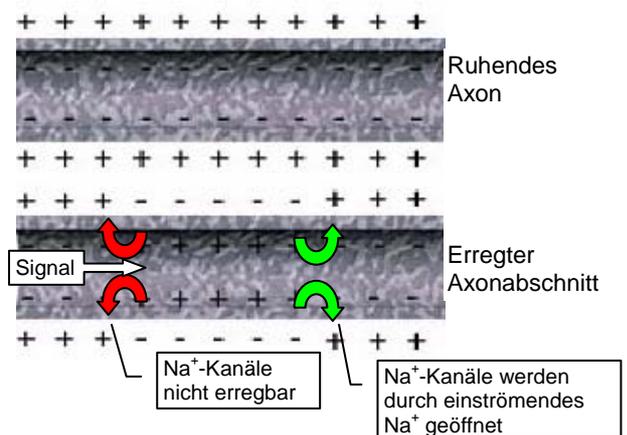


Abb. 5: Weiterleitung eines Aktionspotentials

Übertragung des Aktionspotentials auf die nächste Nervenzelle:

Das Aktionspotential wird über das Axon weitergeleitet bis zu den Synapsen. In der Membran der Synapsen befinden neben den K⁺- und Na⁺-Kanälen noch Ca²⁺-Kanäle. Diese werden aktiviert durch Na⁺, welches bei einem Aktionspotential in die Zelle strömt. Durch die Aktivierung der Ca²⁺-Kanäle fliesst Ca²⁺ ins Zellinnere (die Konzentration von Ca²⁺ ist ausserhalb der Zelle höher, siehe Abb. 4)

Erreicht ein Aktionspotential die Synapse, strömt also nach Na⁺ auch Ca²⁺ in die Zelle. Ca²⁺ wirkt als Signalmoleküle für Rezeptoren auf den **Vesikeln**, die sich in den Synapsen befinden und mit **Neurotransmittern** (=Signalmoleküle) gefüllt sind. Ca²⁺ veranlasst die Vesikel zur Membran zu wandern und sich nach aussen zu entleeren.

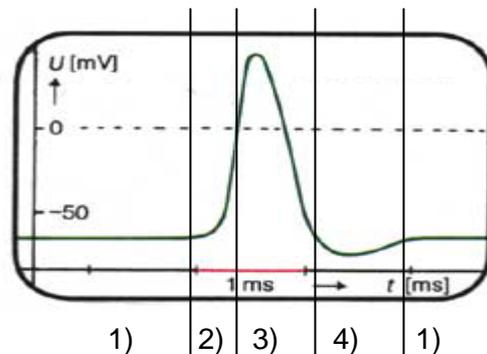
Ist die nachfolgende Zelle eine Nervenzelle, binden die Neurotransmitter an Na⁺-Kanalverbundene Rezeptoren in der Membran der Dendriten. Dadurch depolarisiert sich die Membran und die Zelle kann, falls das Schwellenpotential erreicht wird, ebenfalls ein Aktionspotential weiterleiten.

Ist die nachfolgende Zelle eine Muskelzelle, werden ebenfalls Neurotransmitter ausgeschüttet. Diese haben aber eine andere Wirkung: Sie veranlassen den Muskel, sich zusammen zu ziehen.

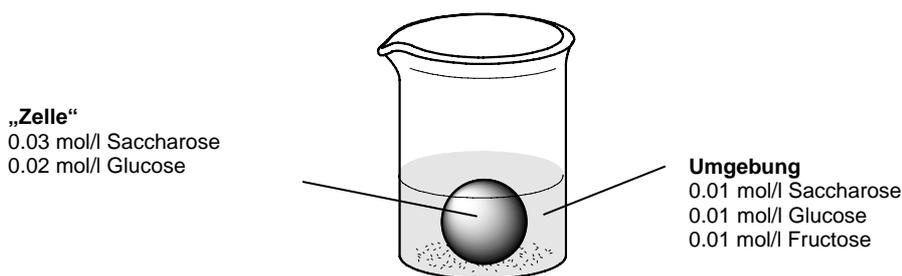
Aufgaben:

1. Während einer Signalübermittlung kommen mehrere verschiedene Formen des Transports vor. Welche sind das? Erläutern Sie deren Prinzip.
2. Erläutern Sie die verschiedenen Funktionen einer Zellmembran am Beispiel der Nervenzelle.
3. a) Was versteht man unter Phosphorylierung? b) Welche Moleküle werden während einem Zyklus der Na^+ - K^+ -Pumpe in bzw. aus der Zelle transportiert, welche entstehen bzw. werden verbraucht? Stellen Sie eine Gleichung auf! (Benutzen Sie: $\text{ATP}, \dots, \text{K}^+_{\text{innen}}, \text{K}^+_{\text{ausser}}, \dots$)

4. Interpretieren Sie das nebenstehende Diagramm. (Das Diagramm wurde erhalten durch die Messung des Membranpotential an einer aktiven Nervenzelle). Überlegen Sie sich, was in den verschiedenen Phasen (1 bis 4) vor sich geht. Warum ist das Membranpotential in Phase 4 negativer als in Phase 1?



5. Eine künstliche Zelle- das heisst eine selektiv permeable Membran, die eine wässrige Lösung einschliesst- wird in ein Gefäss mit einer anderen Lösung gebracht. Die Membran ist durchlässig für Wasser sowie für die einfachen Zucker Glucose und Fructose, stellt aber für das Disaccharid Saccharose eine völlig undurchdringliche Barriere dar.



- a) Welche Substanz(en) diffundieren in die Zelle?
- b) Welche Substanz(en) diffundieren aus der Zelle?
- c) Welche Lösung- der Zellinhalt oder die Umgebung- ist gegenüber der anderen hypertonisch?
- d) Was geschieht, wenn man die Zelle ins Gefäss gebracht hat und warum?