**Aktionspotential**

- Variante **1**: vom Text zum Fließdiagramm -

Über das Axon leiten Nervenzellen Informationen verschlüsselt in Form von elektrischen Impulsen weiter, den Aktionspotentialen. Dabei verändern sich die Spannungsverhältnisse an der Axonmembran in typischer, immer gleichbleibender Art und Weise (siehe Abb. 1, Reizsituation C). Aktionspotentiale laufen also immer gleich ab.

Man kann ein Axon künstlich reizen und ein solches Aktionspotential auslösen.



**Abb. 1**: Membranspannung in drei Reizsituationen A - C[[1]](#footnote-1)

 Reizsituation C gegliedert in Phase 1 – 6; Größe von Reiz A < Reiz B < Reiz C

Als Ausgangspunkt misst man an einer Axonstelle ein Ruhepotential von -70 mV (intrazelluläre Messelektrode, vgl. Messung Ruhepotential). Nun setzt man an dieser Stelle einen Reiz, sticht dazu mit einer feinen Glaskapillar-Elektrode ins Axon und lässt aus ihr gezielt Kationen, z. B. Kaliumionen, austreten, so dass es zu einem Anstieg der Membranspannung, also einer Depolarisation kommt. Wie stark die Depolarisation ist, hängt von der Menge der zugegeben Kationen ab: Werden vergleichsweise wenig Kationen zugegeben, ist eine gering positivere Membranspannung im Inneren des Axons zu beobachten (Reizsituation A), ist die zugegebene Kationenmenge etwas größer, ist auch ein größerer Anstieg der Membranspannung zu verzeichnen (Reizsituation B). Die Depolarisation nimmt mit der Zeit ab und der Wert des Ruhepotentials stellt sich wieder ein.

Bei Reizsituation C zeigt sich nun eine Besonderheit: Ist die zugegebene Kationenmenge so groß, dass die so genannten Schwellenspannung von ungefähr -55 mV erreicht wird, steigt die Membranspannung ohne weitere Kationenzugabe sehr schnell und stark an (Phase der Depolarisation), wobei Werte im positiven Bereich von bis zu + 40 mV gemessen werden. Ursache dafür ist das Vorhandensein von spannungsgesteuerten Natriumionen-Kanälen, die sich in großer Zahl schlagartig öffnen, wenn die Schwellenspannung, ein kanaltyp-spezifischer Spannungswert, erreicht wird. Nun strömen Natriumionen aufgrund ihres nach innen weisenden Konzentrationsgefälles und der gleichgerichteten elektromotorischen Kräfte ins Innere des Axons und bewirken hier die Umpolung. Das Axoninnere ist jetzt positiv geladen. Die spannungsgesteuerten Natriumionen-Kanäle schließen nach kurzer Zeit automatisch.

Ebenfalls ausgelöst durch das Erreichen der Schwellenspannung öffnen sich nun zeitversetzt weitere Ionen-Kanäle in der Axonmembran, nämlich spannungsgesteuerte Kaliumionen-Kanäle. Gemäß ihrem nach außen gerichteten Konzentrationsgefälle, welches durch die ebenfalls nun nach außen gerichteten elektromotorischen Kräfte unterstützt wird, verlassen Kaliumionen das Axoninnere. Dadurch sinkt die Membranspannung in der Phase der Repolarisation schnell in den negativen Wertebereich.

Während der Hyperpolarisation wird kurzzeitig eine Membranspannung von etwa -90 mV verzeichnet, da mehr Kaliumionen nach außen strömen als zum Erreichen des Ruhepotentials nötig gewesen wären. Dies liegt daran, dass die spannungsgesteuerten Kaliumionen-Kanäle erst relativ langsam wieder schließen. Nach kurzer Zeit zeigt sich jedoch wieder der für ein Ruhepotential typische Wert von –70 mV.

Die Natrium-Kalium-Pumpen stellen die ursprüngliche Ionenverteilung wieder her.

1. Erstellen Sie ein Fließdiagramm, welches die Abläufe während eines Aktionspotentials zeigt.
2. „*Die Natrium-Kalium-Pumpen stellen die ursprüngliche Ionenverteilung wieder her*.“ Erläutern Sie den letzten Satz des Informationstextes.
3. *„Wird die Schwellenspannung erreicht, läuft ein Aktionspotential nach der Alles-oder-Nichts-Regel ab.“* Erklären Sie das Schülerzitat.

|  |
| --- |
| **V1 - Hilfe 1 (zu Aufgabe 1):** |

Für ein Fließdiagramm werden die einzelnen Punkte in einer logischen bzw. zeitlich passenden Reihenfolge angeordnet. Man formuliert meist Stichpunkte, die durch Folgepfeile verbunden sind.

Bsp. Zähneputzen:

Zahnbürste mit Wasser befeuchten→ Zahnpastatube öffnen → Zahnpasta auf Bürste geben→ …

|  |
| --- |
| **V1 - Hilfe 2 (zu Aufgabe 1):** |

Orientieren Sie sich für eine Grobeinteilung des Fließdiagramms an den in Abb. 1 gezeigten Phasen 1 bis 6 der Abszisse (x-Achse).

|  |
| --- |
| **V 1 - Hilfe 3 (zu Aufgabe 1):**  |

Markieren Sie für jede Phase nur zwei bis drei Stichworte aus dem Text in Farbe und orientieren Sie sich daran, um die einzelnen Bausteine des Fließdiagramms zu formulieren. Achten Sie auf die Reihenfolge der Abläufe.

|  |
| --- |
| **V 1 - Hilfe 4 (zu Aufgabe 2):**  |

Überlegen Sie sich, welche Ionen (Ionenart und Ionenkonzentration) sich nach einem Aktionspotential im Axoninneren und welche sich im Axonäußeren befinden und vergleichen Sie mit der Ionenverteilung, wie sie für ein Ruhepotential typisch ist.

Hinweis: siehe AB Säugetierneurone

|  |
| --- |
| **V 1 - Hilfe 5 (zu Aufgabe 3):**  |

Beachten Sie die Informationen über das Aktionspotential, die der Text vor der Abbildung liefert.

|  |
| --- |
| **V 1 - Hilfe 5 (Aufgabe 3):**  |

Vergleichen Sie die Spannungskurve C mit den Spannungskurven A und B. Beachten Sie dabei auch die Informationen über die Größe der Reize A, B und C in der Achsenbeschriftung.

|  |
| --- |
| **V 1 - Hilfe 6 (Aufgabe 3):** |

Lesen Sie in der Abb. 1. den Wert für die Schwellenspannung ab.

Verwenden Sie folgende Bausteine:

„Reizsituation A und B: Wird durch eine Depolarisation die Schwellenspannung von… erreicht/nicht erreicht, so …“

„Reizsituation C: Wird durch eine Depolarisation die Schwellenspannung von… erreicht/nicht erreicht, so …“

|  |
| --- |
| **Variante 1 - Lösungsvorschläge** |

1. Aktionspotential:

|  |  |
| --- | --- |
|  | Wert des Ruhepotentials (-70 mV) |
|  | ↓ |
| Depolarisation | Leichte Depolarisation |
|  | ↓ |
|  | Erreichen der Schwellenspannung (-55 mV) |
|  | ↓ |
|  | Öffnen von spannungsgesteuerten Natriumionen-Kanälen |
|  | ↓ |
|  | Einstrom von Natriumionen ins Axoninnere |
|  | ↓ |
|  | Schnelle starke Depolarisation (bis +40 mV) |
|  | ↓ |
|  | Schließen der Natriumionen-Kanäle |
|  | ↓ |
|  | Kein weiterer Natriumioneneinstrom |
| Repolarisation  | ↓ |
|  | Öffnen von spannungsgesteuerten Kaliumionen-Kanälen |
|  | ↓ |
|  | Ausstrom von Kaliumionen nach außen |
|  | ↓ |
|  | Schnelle starke Repolarisation |
| Hyperpolarisation | ↓ |
|  | Schließen der spannungsgesteuertenKaliumionen-Kanäle (bei -90 mV) |
|  | ↓ |
|  | Kein weiterer Kaliumioneneinstrom |
| Ruhepotential | ↓ |
|  | Erreichen des Ruhepotentialwerts |
|  | ↓ |
|  | Natrium-Kalium-Pumpen aktiv |
|  | ↓ |
|  | Ionenverteilung des Ruhepotentials |

1. Nach einem Aktionspotential befinden sich innen mehr Natriumionen und außen mehr Kaliumionen als im Ausgangszustand. Natrium-Kalium-Pumpen in der Axonmembran transportieren Natriumionen nach außen und Kaliumionen nach innen und stellen damit die ursprüngliche Ionenverteilung (innen: viel Kaliumionen, außen: viel Natriumionen) wieder her. Dies läuft unter Aufwendung von Energie in Form von ATP ab.
2. Alles-oder-Nichts-Regel:

Reizsituation C: Wird durch eine geringfügige Depolarisation der Spannungswert so positiv, dass das Schwellenpotential von -55 mV erreicht wird (überschwelliger Reiz), so öffnen die spannungsgesteuerten Natriumionen-Kanäle in der Axonmembran in großer Zahl und es kommt zum Einstrom von Natriumionen in großem Umfang.

Reizsituation A und B: Wird durch eine geringfügige Depolarisation der Spannungswert zwar positiver, aber das Schwellenpotential von -55 mV nicht erreicht (unterschwelliger Reiz), so öffnen die spannungsgesteuerten Natriumionen-Kanäle in der Axonmembran nicht und es kommt nicht zum massenhaften Einstrom von Natriumionen. Die geringfügige Depolarisation klingt mit der Zeit ab.

Entweder wird also die Schwellenspannung durch Depolarisation erreicht bzw. überschritten und es wird ein typisches Aktionspotential (=“Alles“) ausgebildet oder die Schwellenspannung wird nicht erreicht und es wird kein Aktionspotential (=“Nichts“) ausgebildet.

1. Verändert nach: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aktionspotential.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAktionspotential.svg) (GNU-Lizenz – Free Documentation License Version 1.2 und CC-Lizenz 3.0 unportet; entnommen am 08.10.2013, 16:00) [↑](#footnote-ref-1)