

SCHOOL-SCOUT.DE

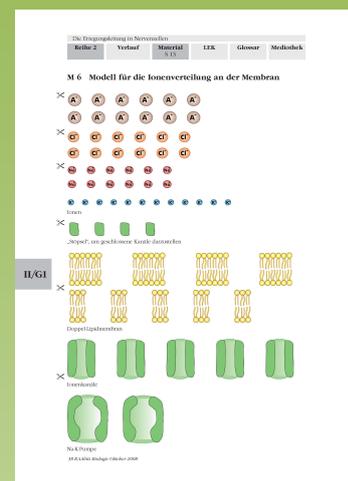
Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Die Erregungsleitung in Nervenzellen

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



Die Erregungsleitung in Nervenzellen

Cornelia Preidl, Koblenz

Niveau: Sek. II

Dauer: 13 Unterrichtsstunden

- Ziele:** Die Schülerinnen und Schüler ...
- sind in der Lage, den Aufbau verschiedener Nervenzelltypen zu erläutern;
 - leiten sich selbstständig die Entstehung des Ruhepotenzials her;
 - erarbeiten sich anhand von Frage-Antwort-Karten die molekularen Vorgänge während des Aktionspotenzials;
 - können den Versuchsaufbau zur Spannungsmessung an der Nervenzelle sowie die erhaltenen Messergebnisse erläutern;
 - vollziehen in einem Rollenspiel die Vorgänge an der chemischen Synapse nach.

Didaktisch-methodische Orientierung

Die Neurobiologie nimmt im Lehrplan der Oberstufe einen festen Platz ein. Vor dem Beginn der Unterrichtsreihe sollte sichergestellt werden, dass den Schülerinnen und Schülern der **Aufbau von Biomembranen** sowie die **Mechanismen des Membrantransports (Diffusion, Osmose, aktiver Transport)** präsent sind. Ohne diese Grundlagen sind die molekularbiologischen Abläufe an den Nervenzellen nicht zu verstehen.

Mithilfe des vorliegenden Beitrags bringen Sie Ihren Schülerinnen und Schülern die Grundlagen der Neurobiologie nahe. Neben einer sorgfältigen didaktischen Aufbereitung wurde dabei vor allem auf eine lernpsychologisch wertvolle Methodenwahl und -vielfalt Wert gelegt: Als Einstieg in die gesamte Unterrichtseinheit ist die Folie M 1 gedacht (zum Einsatz siehe Erläuterung zu M 1).

In mehreren Materialien wurden bewusst **spielerische** und **kreative Aspekte** integriert, um die **Motivation und Kommunikationsfähigkeit** der Lernenden zu fördern. So erarbeiten sich die Lernenden direkt zu Anfang der Unterrichtseinheit die notwendigen Fachbegriffe in Form eines **Laufdiktats (M 2)**. Dabei werden im Klassenraum Informationsblätter aufgehängt. Sie enthalten die notwendigen Informationen zur Beschriftung und Erläuterung einer Nervenzellabbildung, die jeweils am Platz des Schülers verbleibt. So müssen sich die Lernenden die Informationen auf ihrem Weg von den Aushängen bis zu ihrem Platz merken, was die Konzentrationsfähigkeit schult. Die Bewegung wirkt sich ebenfalls positiv auf den Lerneffekt aus. Auch das **Arbeitsblatt M 3** enthält spielerische Aspekte: Die Schülerinnen und Schüler formen Modelle verschiedener Nervenzelltypen, die später blind ertastet und dem Arbeitspartner beschrieben werden. Die **haptische Erfahrung** verbunden mit der **intensiven Kommunikation** ermöglichen eine gezielte Festigung der erlernten Fachbegriffe. Einen **kreativ-spielerischen Zugang zum Entstehen des Ruhepotenzials** ermöglicht das **Material M 5** und die **Farbfolie M 6**. Anhand von Modellabbildungen der Membran sowie der beteiligten Ionen erstellen die Schülerinnen und Schüler eine kommentierte „Bildergeschichte“. Dadurch können sich die Lernenden die molekularen Vorgänge leichter bildhaft vorstellen. Auf diese Weise bleiben die Vorgänge den Schülerinnen und Schülern besser und dauerhaft im Gedächtnis. Variabel spielerisch einsetzbar ist das **Material M 10**, das Karten mit Fragen und entsprechende Antworten zum Ablauf des Aktions-

potenzials enthält. Diese Karten können zum Beispiel als **Quiz** oder **Memory** eingesetzt werden. Denkbar ist es auch, die Karten als eine **Selbstlerneinheit** zu nutzen. Dann leiten die Fragen die Schülerinnen und Schüler auf ihrem Erkenntnisweg, sodass die Beteiligung der Lehrkraft auf ein Minimum beschränkt bleibt. Selbstständiges Arbeiten, Kommunikation und Textverständnis werden beim Einsatz der **Kugellagermethode (M 11)** von den Schülerinnen und Schülern gefordert. Bei dieser Methode üben sich die Lernenden im gegenseitigen Erklären. Sie eignet sich besonders gut zur Erarbeitung von zwei verwandten aber unabhängig voneinander verständlichen Teilthemen. In M 11 bildet die Erregungsleitung am marklosen und am markhaltigen Axon diese Themen. Eine genauere Beschreibung dieser Methode findet sich in den Erläuterungen zu M 11. Kommunikationsfähigkeit steht auch bei dem **Rollenspiel (M 12)** im Vordergrund, das dazu dient, die Vorgänge an der chemischen Synapse darzustellen.

Visualisieren und Modelldenken sind Schlagwörter, die insbesondere in **M 4** und **M 7** umgesetzt werden. M 4 liefert einen kurzen Überblick über die notwendigen Apparaturen zur Spannungsmessung an Nervenzellen. Einfache, aber aussagekräftige Modellexperimente zum Diffusions-, Membran- und Ruhepotenzial in M 7 ermöglichen den Schülerinnen und Schülern einen **experimentellen Zugang**. Dabei ermitteln sie eigene Messdaten und werten diese aus.

Eine vor allem **theoretische Auseinandersetzung** mit dem Thema fordern die Arbeitsblätter **M 8–M 9** von den Schülerinnen und Schülern. Dabei steht insbesondere die Textarbeit im Vordergrund. Außerdem werden Grafen erstellt und analysiert. In M 8 setzen sich die Lernenden mit dem Zusammenhang von Reiz und der Entstehung des Rezeptorpotenzials auseinander, bevor M 9 zum Aktionspotenzial überleitet.

Fachwissenschaftliche Orientierung

Das Ruhepotenzial

Nervenzellen haben die Fähigkeit, Reize in elektrische Impulse umzuwandeln und weiterzuleiten. Bewerkstelligt wird dies durch eine Änderung der Membranspannung, ein Vorgang, der nur bei Nervenzellen auftritt. Wie alle lebenden Zellen haben Nervenzellen eine elektrische Ladungsdifferenz (elektrisches Potenzial oder Spannung) über ihre Plasmamembran. Dieses sogenannte Membranpotenzial kommt aufgrund unterschiedlicher Ionenverteilungen innerhalb und außerhalb der Zelle zustande. Innerhalb des Cytoplasmas liegen Anionen in hoher Konzentration vor, während die umgebende extrazelluläre Flüssigkeit reich an Kationen ist. Die gemessene Spannung in unerregten Nervenzellen liegt zwischen -30 mV und -100 mV, weshalb das Membranpotenzial auch als Ruhepotenzial bezeichnet wird. Das Membranpotenzial wird durch die selektive Permeabilität der Plasmamembranen für bestimmte Ionen aufrechterhalten. So ist innerhalb der Zelle die Konzentration an Kalium-Ionen (K^+ -Ionen) und organischen Anionen (A^-) besonders hoch, während im extrazellulären Raum vor allem Natrium-Ionen (Na^+) und Chlorid-Ionen (Cl^-) vorliegen. Die Zellmembran ist semipermeabel, d. h., verschiedene Ionen können die Membran unterschiedlich gut passieren. Für K^+ -Ionen ist die Durchlässigkeit am größten. Sie diffundieren in den extrazellulären Raum und bewirken, da die negativ geladenen organischen Anionen nicht folgen können, eine zunehmende negative Aufladung der Membraninnenseite. Da die Membran für Na^+ -Ionen nicht vollständig impermeabel ist, sickern einige Na^+ -Ionen nach innen und stören das aufgebaute elektrische Feld (Leckstrom). Damit das Potenzial nicht zusammenbricht, ist ein aktiver Transport notwendig. Unter Energieverbrauch pumpt die ATP-getriebene Natrium-Kalium-Pumpe die eingedrungenen Na^+ -Ionen gegen das Konzentrationsgefälle nach außen und im Gegenzug K^+ -Ionen nach innen und sorgt so für eine Aufrechterhaltung des Ruhe- oder Membranpotenzials.

Das Aktionspotenzial

Beim Eintreffen eines Reizes an der Nervenzelle verändern sich die Membranspannungen grundlegend. Es entsteht zunächst das sogenannte Rezeptorpotenzial. Die Änderung des Membranpotenzials ist ein lokales elektrisches Ereignis am Ort der Reizung und abhängig vom Typ des chemisch gesteuerten Ionenkanals, der auf den Reiz hin geöffnet wird. Einige Reize lösen eine Hyperpolarisation aus (z. B. erhöhter K^+ -Ionen-Ausstrom, das Innere der Zelle wird negativer), andere führen zu einer Depolarisation, d. h., durch Einstrom von Na^+ -Ionen wird die negative Ladung des Zellinneren geringer. Bei solchen Spannungsänderungen handelt es sich um graduierte Potenziale, da ihr Ausmaß von der Stärke des auslösenden Reizes abhängt. Übersteigt die Depolarisation der Plasmamembran durch einen ausreichend starken Reiz einen bestimmten Schwellenwert, wird ein Aktionspotenzial ausgelöst. Das Aktionspotenzial kann nur am Axon der Nervenzelle gebildet werden und wird durch eine elektrotonische Depolarisation ausgelöst, die in den Dendriten oder im Soma aufgetreten und entlang der Membran zum Axon gelangt ist. Das Aktionspotenzial ist ein „Alles-oder-nichts“-Ereignis und wird nicht durch die Stärke des Reizes bestimmt, durch den es ausgelöst wurde. Infolge der Depolarisierung der Membran öffnen sich immer mehr spannungsgesteuerte Na^+ -Kanäle und führen durch positive Rückkopplung zu einer explosionsartigen Depolarisation. Nach 1 ms schließen die spannungsgesteuerten Na^+ -Kanäle wieder und sind kurzzeitig nicht aktivierbar (Refraktärzeit). Während sich die Na^+ -Kanäle schließen, öffnen sich spannungsgesteuerte K^+ -Kanäle. Durch den Ausstrom von K^+ -Ionen kommt es zur Repolarisation der Zellmembran. Durch die Na^+ - K^+ -Ionenpumpe wird die ursprüngliche Ionenverteilung wiederhergestellt. Erst bei Wiedererreichen des Ruhe- oder Membranpotenzials kann ein erneutes Aktionspotenzial ausgelöst werden. Die Weiterleitung des Aktionspotenzials erfolgt am marklosen Axon durch kontinuierliche Erregungsleitung, d. h., die Umpolung der Membran breitet sich fortlaufend in eine Richtung aus. Am myelinisierten Axon dagegen werden die Aktionspotenziale nur an den Schnürringen gebildet, da die Myelinscheiden elektrisch isolieren (saltatorische Erregungsleitung).

Erregungsübertragung an der Synapse

Am Ende des Axons befindet sich die Synapse. Hier wird das elektrische Signal in ein chemisches Signal (Transmitter) umgewandelt. Die Synapsen bilden die Kontaktstelle zur postsynaptischen Signal-empfangenden Zelle (z. B. Nerven-, Muskel-, Drüsenzelle). Bei Eintreffen eines Aktionspotenzials werden im Synapsenköpfchen spannungsgesteuerte Ca^{2+} -Ionenkanäle geöffnet. Der Anstieg der Ca^{2+} -Ionenkonzentration führt zu einer Verschmelzung der synaptischen Vesikel mit der Plasmamembran und somit zur Freisetzung des Transmitters in den synaptischen Spalt. Der Transmitter bindet an den passenden Rezeptor in der postsynaptischen Zelle und löst dort, je nach Art des Transmitters, eine Depolarisation (erregendes postsynaptisches Potenzial, EPSP) oder eine Hyperpolarisation (inhibitorisches postsynaptisches Potenzial, IPSP) aus. Ob am Axonhügel der postsynaptischen Zelle ein Aktionspotenzial gebildet wird, hängt von den eingehenden Signalen ab, die in der postsynaptischen Zelle miteinander verrechnet werden. Man unterscheidet dabei zwischen zeitlicher und räumlicher Summation. Bei der zeitlichen Summation findet die chemische Übertragung an einer oder mehreren synaptischen Endigungen zeitlich so kurz hintereinander statt, dass jedes postsynaptische Potenzial die Membran depolarisiert, bevor das Membranpotenzial nach der vorhergehenden Reizung auf das Ruhepotenzial zurückkehren konnte. Bei der räumlichen Summation wird das postsynaptische Neuron durch mehrere synaptische Endigungen gleichzeitig stimuliert, sodass sich die postsynaptischen Signale addieren und auf diese Weise das Membranpotenzial stärker erhöhen. Am Axonhügel werden die eintreffenden elektrischen Signale integriert und miteinander verrechnet. Sind die Effekte der EPSPs stärker als die der IPSPs und überschreitet das Membranpotenzial am Axonhügel die Schwelle, so wird, gemäß der „Alles-oder-nichts“-Regel, ein Aktionspotenzial gebildet und entlang dem Axon bis zur nächsten Synapse geleitet. Überwiegt der Einfluss der IPSPs, so wird kein Aktionspotenzial gebildet und das Neuron desensitiviert.

*Verlauf***Stunde 1****Aufbau einer Nervenzelle**

Material	Verlauf
M 1–M 2	Die Hinführung zum Thema „Neurobiologie“ erfolgt mit der Folie M 1 , auf der zwei Situationen dargestellt sind, die eine schnelle Reaktion erfordern (Einsatz siehe Erläuterung zu M 1). Laufdiktat zu dem Bau und den Fachbegriffen der Nervenzelle.

Stunde 2**Nervenzelltypen und Messtechnik**

Material	Verlauf
M 3–M 4	An selbst gebastelten Neuronenmodellen ertasten die Lernenden unterschiedliche Typen von Nervenzellen und wiederholen die in M 2 gelernten Begriffe. M 4 als Hausaufgabe: Methoden der Spannungsmessung an Nervenzellen .

Stunde 3 und 4**Die Entstehung des Ruhepotenzials**

Material	Verlauf
M 5–M 6	Die Schülerinnen und Schüler erstellen eine kommentierte „Bildergeschichte“ zur Entstehung des Ruhepotenzials.

Stunde 5**Modellversuche**

Material	Verlauf
M 7	Die Lernenden verdeutlichen sich die Entstehung des Diffusions-, Membran- und Ruhepotenzials noch einmal durch experimentelles Arbeiten (oder Gedankenversuche).

Stunde 6 und 7**Vom Rezeptorpotenzial zum Aktionspotenzial**

Material	Verlauf
M 8–M 9	In M 8 werten die Lernenden Grafiken aus , in denen die Ausbildung der Membranspannung auf einen Reiz hin dargestellt ist. Sie erkennen dabei den Zusammenhang zwischen der Reizintensität und der Höhe des Membranpotenzials. Des Weiteren wird ihnen klar, dass die Amplitude der Membranspannung mit wachsender Entfernung vom Reiz abnimmt. Nun wird ihnen deutlich, dass über größere Entfernungen eine andere Form der Erregungsweiterleitung erforderlich ist. Damit ist der Übergang zu der Beschäftigung mit dem Aktionspotenzial in M 9 geschaffen.

Stunde 8 und 9

Die molekularen Vorgänge während des Aktionspotenzials

Material	Verlauf
M 10	Anhand der Selbstlernkartei M 10 erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler die Phasen des Aktionspotenzials selbstständig.

Stunde 10 und 11

Erregungsleitung am Axon

Material	Verlauf
M 11	Gegenseitiges Erklären der Erregungsleitung am myelinisierten und marklosen Axon, wobei die Kugellager-Methode Verwendung findet. Dadurch Förderung von Textarbeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstständigkeit.

Stunde 12 und 13

Vorgänge an der Synapse

Material	Verlauf
M 12	Die Lernenden beschäftigen sich mit der chemischen und elektrischen Synapse . In einem kommentierten Rollenspiel stellen sie dann die molekularen Vorgänge bei der cholinergen Synapse nach.

Materialübersicht

M 1	(Fo)	Einstiegsfolie für die gesamte Unterrichtseinheit
M 2	(Ab)	Aufbau einer Nervenzelle (Neuron) <input type="checkbox"/> Informationstexte vergrößert fotokopieren und eventuell laminieren
M 3	(Ba)	Verschiedene Typen von Nervenzellen <input type="checkbox"/> Salzteig, Ton, Fimo (Material zum Modellieren der verschiedenen Typen von Nervenzellen)
M 4	(Ab)	Von Froschschenkeln und Tintenfischen – Spannungsmessung an Nervenzellen
M 5	(Ab)	Die Entstehung des Ruhepotenzials
M 6	(Fo)	Modell für die Ionenverteilung an der Membran <input type="checkbox"/> gegebenenfalls Magnete beim Einsatz des Ionenmodells an der Tafel
M 7	(Ab, Ex)	Modellversuche zum Diffusions- und Membranpotenzial <input type="checkbox"/> Reaktionsgefäß, das in zwei Halbzellen aufgeteilt werden kann <input type="checkbox"/> 2 Elektroden, Spannungsmessgerät, Kaliumchlorid (KCl) <input type="checkbox"/> destilliertes Wasser <input type="checkbox"/> Filterpapier (omnipermeeable Membran) <input type="checkbox"/> kationenpermeable Membran <input type="checkbox"/> Millimeterpapier, Periodensystem
M 8	(Ab)	Vom Reiz zur Erregung – das Rezeptorpotenzial
M 9	(Ab)	Das Aktionspotenzial
M 10	Sp)	Molekulare Vorgänge während des Aktionspotenzials <input type="checkbox"/> Frage-Antwort-Karten <input type="checkbox"/> gegebenenfalls Scheren (wenn die Lernenden die Karten selbst ausschneiden) und evtl. auch Klebstoff (siehe Erläuterung zu M 10)
M 11	(Tx)	Erregungsleitung am Axon
M 12	(Ab) (Sp)	Vorgänge an der cholinergen Synapse <input type="checkbox"/> laminierte Rollenspiel-Schilder <input type="checkbox"/> Kreide, Klebeband (Kreppband)

Die Erläuterungen und Lösungen finden Sie ab Seite 31.

M 4 Von Froschschenkeln und Tintenfischen – Spannungsmessung an Nervenzellen

Der italienische Arzt *Luigi Galvani* (1737–1798) machte im Jahre 1786 bei der Zubereitung von Froschschenkeln eine erstaunliche Entdeckung. Als er die Froschschenkel an einem Kupferdraht an einem eisernen Balkongitter aufhängte und die Schenkel, durch einen Windstoß ins Schwanken gebracht, das Gitter berührten, traute er seinen Augen kaum: Die Muskulatur begann zu zucken. Aus dieser Beobachtung folgerte Galvani, dass bei **Muskelkontraktionen elektrische Vorgänge** eine Rolle spielen müssen. Den Nachweis von elektrischen Potenzialen (Spannungen) konnte er jedoch noch nicht führen.

Ein solcher Nachweis gelang erst *Sir John Eccles*, *Sir Alan Hodgkin* und *Sir Andrew Huxley* im Jahre 1939, wofür sie 1963 den Medizin-Nobelpreis bekamen. Ihre Messungen führten sie an Axonen von Tintenfischen durch, da diese sogenannten Riesenaxone einen relativ großen Durchmesser aufweisen. Die Vorgehensweise ist aber auf andere Neurone übertragbar.

Mithilfe der unten abgebildeten Messapparatur (Abbildung 2) konnten die Wissenschaftler zeigen, dass zwischen dem Inneren einer Zelle und dem umgebenden Außenmedium eine elektrische Spannung vorliegt. Das **Zellinnere (Cytoplasma)** ist dabei der **Minuspol**, hier scheint also ein Überschuss an negativer Ladung zu bestehen, während im **Außenmedium (Pluspol)** die **positive Ladung** überwiegt. Da die Ladungen durch eine Zellmembran getrennt vorliegen, bezeichnet man die Spannung als **Membranpotenzial**.

Um das Membranpotenzial zu messen, sind zwei Elektroden nötig. Die eine, die **Bezugselektrode**, taucht in das **Außenmedium** ein, während die **Messelektrode** (meist eine extrem dünne Glaskapillare) in das **Innere der Nervenzelle** geführt wird. Durch den geringen Durchmesser der Kapillarelektrode kann sich die Zellmembran an der Einstichstelle dicht um die Elektrode legen, sodass aufgrund der Einstichstelle kein Stoffaustausch mit der Umgebung erfolgt (durch den das Messergebnis verfälscht werden könnte). Die beiden Elektroden sind über einen Verstärker mit einem Oszilloskop verbunden, welches die Membranspannung anzeigt.

Tauchen beide Elektroden in das Außenmedium, so ist keine Spannung zu messen, denn ein Potenzial ist immer nur über eine Grenzschicht (hier die Membran) messbar. Erst wenn die Messelektrode in das Innere der Nervenzelle gelangt, zeigt das Oszilloskop eine Spannung an. Je nach Zelltyp beträgt diese zwischen -30 mV und -100 mV. Da das Innere der Zelle negativ geladen ist, erhält die gemessene Spannung vereinbarungsgemäß ein negatives Vorzeichen. Die genannten Werte werden an ruhenden, also unerregten Nervenzellen gemessen. Aus diesem Grund wird das Membranpotenzial in diesem Fall auch als **Ruhepotenzial** bezeichnet. Durch eine Reizung verändert sich die Situation an der Nervenzelle und somit auch die gemessene Spannung.

Mithilfe des Oszilloskops lassen sich elektrische Potenziale an der Nervenzelle darstellen und Potenzialveränderungen sichtbar machen. Die Ursachen für solche elektrischen Potenziale und ihre Veränderungen sind, wie wir noch genauer sehen werden, in der **unterschiedlichen Ionenverteilung** zwischen der **Innen- und Außenseite** der Nervenzelle zu suchen. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass diese Konzentrationsunterschiede stets nur in einem engen Bereich um die Membran auftreten. Makroskopisch betrachtet herrscht intra- und extrazellulär Elektroneutralität.



Abbildung 1: Luigi Galvani

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Die Erregungsleitung in Nervenzellen

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

