

Ergänzende Materialien zum UB-Beitrag „Dominosteine neu aufgestellt“ in UB 397-98:

- 1) Hinweise zur praktischen Durchführung der Unterrichtsschritte (Seite 2-5)
- 2) Material 7 zum Verständnis multipler Modelle (Seite 6)

1) Hinweise zur praktischen Durchführung der Unterrichtsschritte:

Unterrichtsschritt	Kompetenzdimension	Mat.
I. Domino-Modells zur kontinuierlichen Erregungsleitung	Modellwissen	1
II. Weiterentwicklung des Modells mit dem Ziel einer schnelleren Erregungsleitung und entsprechende Testung	Modellarbeit	2
III. Überprüfung der alternativen Modelle anhand empirischer Daten zur Verteilung spannungsabhängiger Natriumkanäle	Modellarbeit und Modellwissen	3
IV. Rückblickende Reflexion der Schritte modellbasierter Erkenntnisgewinnung	Modellverständnis	4
V. Das Schlauch-Modell der Erregungsleitung - die Struktur und Funktionsweise der Myelinscheide erarbeiten	Modellwissen und Modellverständnis	5, 6 + 7

Tabelle: Unterrichtsschritte und entsprechende Kompetenzdimensionen im Überblick

1. Unterrichtsschritt: Das Domino-Modell der kontinuierlichen Erregungsleitung erschließen

Das einfache Domino-Modell der saltatorischen Erregungsleitung kann traditionell als Veranschaulichung der zuvor erarbeiteten Mechanismen des spannungsinduzierten Natrium-Einstroms, entsprechender Depolarisation und erneuter Öffnung benachbarter Natriumkanäle durch die Spannungsveränderung (inkl. Refraktärzeit der Kanäle entgegen der Erregungsleitung) erschlossen werden. Um bereits hier einen produktiv-aktivierenden Umgang mit dem Modell zu initiieren, kann diese einfache Modellvariante von den Lernenden auf der Grundlage eines entsprechenden Materialangebots selbst entwickelt werden. Das Material sollte hierbei dann über die Dominosteine hinaus weitere Komponenten (z.B. Schaumstoff, Strohhalme, Murmeln, Silikonschläuche, o.ä.) enthalten, die erstens eine gezielte Auswahl erfordern und zweitens die Lernenden schon hier mit den Materialien für die spätere Modellweiterentwicklung vertraut machen.

Um bezüglich des einfachen Modells zur kontinuierlichen Erregungsleitung ein vertieftes Modellwissen als Basis der späteren Modellweiterentwicklung zu sichern, schließt sich an die Überlegungen zu dem Modell eine systematische Analogisierung und Modellkritik an. Die Analogisierung sollte sich hier sowohl auf die Bauelemente des Modells als auch auf die entsprechenden Teilprozesse bzw. Zustände beziehen, um insbesondere deren Bedeutung detailliert zu klären (siehe AB). Im Rahmen der Modellkritik sind diverse Aspekte von Relevanz, die in ihrer Summe einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung eines vertieften Modellwissen leisten können. Hierbei ist für das Erfassen der Modell-Original-Differenz von übergeordneter Bedeutung, dass die Lernenden erkennen, dass die Prozesse im Modell durch mechanische Wechselwirkungen (Gravitation und elastische Stoßkräfte) ablaufen, während jene im Axon durch Diffusion und elektrische Kräfte erfolgen. Weitere Aspekte der Modellkritik wie die Richtung der Erregungsleitung oder die fehlende Repolarisierung sind auf dem Arbeitsblatt als mögliche Lösungen aufgeführt.

2. Unterrichtsschritt: Wie geht es schneller? – Die Weiterentwicklung des Domino-Modells

Auf der Grundlage des Modells kontinuierlicher Erregungsleitung kann eine Weiterentwicklung über den Vergleich unterschiedlicher Leitungsgeschwindigkeiten initiiert werden. Hierbei können Bezüge zu unterschiedlichen Neuronen beim Menschen oder Vergleiche zwischen Neuronen bei Wirbellosen und Wirbeltieren genutzt werden. Hieran kann sich direkt der Auftrag anschließen, dass Domino-Modell so

weiterzuentwickeln, dass es eine höhere Geschwindigkeit aufweist. Um eine möglichst große Vielfalt hypothetischer Modelle zu evozieren, sollte die Modellweiterentwicklung erstens in Gruppen erfolgen und zudem direkt mit dem Arbeitsauftrag zur Entwicklung alternativer Modelle initiiert werden (vgl. Mat. 2). Zudem kann die Modellweiterentwicklung wesentlich durch die angebotenen Materialien gesteuert werden. Bei entsprechendem Angebot (Strohhalme, weitere Dominosteine u.a.) werden u.a. erfahrungsgemäß zwei Modelle entwickelt (1: geringerer Abstand zwischen den Dominosteinen; 2: großer Abstand zwischen den Dominosteinen mit Übertragung des Stoßes durch Strohhalme), die sich dann auch im Test als schneller erweisen als das ursprüngliche Modell. Der Geschwindigkeitsvergleich kann anschaulich durch den parallelen Aufbau beider Modelle (bisheriges und weiterentwickeltes Domino-Modell) über eine gleich lange Strecke umgesetzt werden. Das Messen der Geschwindigkeit testet die Adäquatheit des Modells bzgl. der Modellierungsabsicht. Haben sich die Modelle im Test als entsprechend schneller erwiesen, muss ihre Gültigkeit weitergehend überprüft werden. Hierzu können Vorhersagen aus den Modellen abgeleitet werden, die dann im 3. Unterrichtsschritt mit empirischen Daten verglichen werden.

3. Unterrichtsschritt: Hypothetische Modelle anhand empirischer Daten zur Verteilung spannungsabhängiger Natriumkanäle überprüfen

Die Daten zur Verteilung der Natrium-Kanäle können in zwei Schritten erschlossen werden, indem zunächst fluoreszenzmarkierte Axone mit Myelinscheide interpretiert werden, die die an den Schnürringen konzentrierten Natriumkanäle sowie die langen, kanalfreien Abschnitte aufzeigen. In einem zweiten Schritt werden vergleichende Diagrammdaten zur Verteilung von Natriumkanälen bei myelinisierten und nicht-myelinisierten Axonen ausgewertet und im Hinblick auf ihre Übereinstimmung mit den aus dem Modellen abgeleiteten Vorhersagen verglichen.

4. Unterrichtsschritt: Rückblickende Reflexion der Schritte modellbasierter Erkenntnisgewinnung

Die bisherigen Schritte des Lernprozesses stellen zwar noch keine vollständige Erschließung der saltatorischen Erregungsleitung dar, bieten aber bereits einen exemplarischen Einblick in das zentrale Wechselspiel aus Modellentwicklung und Überprüfung (vgl. Basisartikel). Daher kann diese Phase des Lernprozesses genutzt werden, um die bisher durchlaufenen Schritte im Sinne eines Bausteins zur Förderung des Modellverständnisses rückblickend zu rekonstruieren. Hierzu werden ungeordnet Bilder zu den einzelnen Schritten als Material angeboten, die von den Schüler_innen dann zu einem Schaubild angeordnet und erläuternd beschriftet werden sollen. Die vorgegebenen Bilder fungieren erstens als entlastende Erinnerungshilfe und sichern zweitens eine vergleichbare Auswertungsbasis, sodass die von den Schüler_innen erstellten Schaubilder leichter verglichen und diskutiert werden können, als wenn diese ganz frei gestaltet würden. Außer dem Modell und dem Datensatz werden hier auch zwei Bilder zur modellbasierten Vorhersage und zum Ausgangsphänomen der schnelleren Erregungsleitung angeboten, um die Darstellung des Erkenntnisprozesses zu komplettieren.

Um die Grundlage für eine entsprechendes Modellverständnis zu erweitern, ist es sinnvoll, den durchlaufenen Modellentwicklungsprozess mit einem weiteren Beispiel zur vergleichen. Hierfür eignet sich beispielsweise die Entwicklung des DNA-Modells, da es exemplarisch ebenfalls das enge

Wechselspiel aus Modellentwicklung und –überprüfung zeigt, sowie als historisch bedeutsamer und den Lernenden inhaltlich bekannter Kontext eine hohe Zugänglichkeit bietet. Durch den Vergleich können die Lernenden von den Beispielen abstrahieren und die generelle Modell-Daten-Wechselbeziehung modellbasierter naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse erfassen.

5. Unterrichtsschritt: Das Schlauch-Modell der Erregungsleitung - die Struktur und Funktionsweise der Myelinscheide erarbeiten

Um ein Verständnis der saltatorischen Erregungsleitung zu ermöglichen, muss aufbauend auf das erarbeitete Verteilungsmuster der spannungsabhängigen Natriumkanäle die Myelinscheide und ihre isolierende Funktion erschlossen werden. Dieser letzte Unterrichtsschritt wird bereits durch das Formulieren von offenen Fragen am Ende von Unterrichtsschritt 3 angebahnt, da sich hier sachlogisch Fragen nach den strukturellen Grundlagen und Mechanismen der zu überbrückenden Axonstrecken ergeben. Somit kann der nächste Unterrichtsschritt direkt mit einer Analyse elektronenmikroskopischer Aufnahmen myelinisierter Axon beginnen. Mit Originalaufnahmen zu zwei Schnittebenen kann hierbei die Entwicklung einer adäquaten räumlichen Vorstellung unterstützt werden und durch Zuordnung in eine schematische Darstellung gesichert werden. Hieran kann sich direkt eine eigenständige modellbasierte Hypothesenbildung anschließen, um die Grundidee des „Überspringens“ der myelinisierten Axonabschnitte durch eigene Modellentwicklung anzubahnen. Die entsprechenden Ideen können als Skizzen auf der Grundlage einer vorgegebenen Umrisszeichnung entwickelt werden, um so eine zeichnerische Entlastung und gute Vergleichbarkeit der Skizzen zu gewährleisten. Als Zusatzinformation werden die elektrisch isolierenden Eigenschaften von Biomembranen angegeben, damit diese wesentliche Funktion in die Modellentwicklung Eingang finden kann. Dieser Schritt der eigenständigen Modellentwicklung kann optional entfallen.

Die Funktion der myelinisierten Axone wird in einem nächsten Schritt systematisch mit einem weiteren Funktionsmodell erschlossen, das im Vergleich zum Domino-Modell eine nachvollziehbarere Darstellung der Myelinscheide vornimmt, indem die elektrotonischen Prozesse als hydraulische Prozesse modelliert werden. Mit diesem Modell kann ähnlich wie mit dem Domino-Modell sowohl die saltatorische als auch die kontinuierliche Erregungsleitung gezeigt werden, so dass hier nochmals aufbauend eine vergleichende Betrachtung zur Modellerschließung umgesetzt werden kann. Die Erklärungen auf der Grundlage des Schlauch-Modells können schließlich ggfs. in Beziehung gesetzt werden zu den zuvor entwickelten Skizzen. Noch verbleibende Fragen können schließlich durch eine klassische Darstellung saltatorischer Erregungsleitung geklärt werden. Die Arbeit am Schlauch-Modell kann ergänzt werden durch eine im Internet verfügbare Animation (<http://www.siumed.edu/~dking2/ssb/saltcon.htm>).

Schlauch- und Domino-Modell bieten schließlich im Vergleich eine hervorragende Möglichkeiten, um die Berechtigung multipler Modelle zu diskutieren, da beide Modelle unterschiedliche Modellierungsschwerpunkte sowie entsprechende Stärken und Schwächen aufweisen. Diese Beurteilungsperspektiven bieten einen entsprechend anspruchsvollen und zugleich herausfordernden Abschluss der intensiven Modellarbeit der durchlaufenen Unterrichtsschritte (Mat. 7).

Material 7a: Viele, viele Modelle!

Mit den verschiedenen Varianten des Domino-Modells und dem Schlauch-Modell hast du eine Vielfalt von Modellen zum Phänomen der saltatorischen Erregungsleitung kennen gelernt. Doch was bedeutet diese Vielfalt? Sind all diese Modelle gültig oder schließen sie sich gegenseitig aus? Nutzt man mal dies und mal jenes Modell oder ist letztlich eines der Modelle das beste? Wie kommt es überhaupt dazu, dass zu einem Phänomen mehrere Modelle existieren? Mögliche Antworten auf diese Fragen findest du in dem unten dargestellten Gespräch zu den drei abgebildeten Modellen zur schnellen Erregungsleitung.

Aufgabe 1: Diskutiere, inwieweit die Aussagen in den runden Sprechblasen zutreffen! Begründe deine Einschätzungen jeweils durch Antworten auf diese Aussagen, die du in die eckigen Sprechblasen einträgst!

Material 7b: Multiple und konkurrierende Modelle

Die Beziehung zwischen zwei Modellen, die dasselbe Phänomen darstellen, kann unterschiedlichen Charakter haben. Erstens können zwei Modelle ein Phänomen grundsätzlich unterschiedlich darstellen und sich dadurch widersprechen; dies sind dann **konkurrierende Modelle**, denn nur eines der beiden Modelle (oder keines) kann zutreffend sein, z.B. kann die Erde nicht gleichzeitig eine Kugel und eine Scheibe sein, so dass eines der Modelle falsch sein muss. Es gibt aber auch verschiedene Modelle zu einem Phänomen, die einander nicht widersprechen, da sie auf derselben Idee bzw. Modellvorstellung beruhen. Diese so genannten **multiplen Modelle** nutzen bspw. unterschiedliche Arten der Modellierung oder unterschiedliche Schwerpunkte der Darstellung, widersprechen sich aber nicht.

Aufgabe 2: Entscheide bzgl. der beiden Modellpaarungen in der Tabelle, um welche Art von Modell-Modell-Beziehung es sich handelt!

Modell/Modell-Paarung	konkurrierende Modelle	multiple Modelle
Domino-Modell/Domino-Strohalm-Modell	X	
Domino-Strohalm-Modell/Schlauch-Modell		X