



– Entwicklungsbeitrag –

Organisationsebenen verknüpfen, um Zellmembranen erfahrbar zu machen: Ein Vorschlag für schülerzentrierte Schwellenkonzepte und Lernumgebung für die Oberstufe

Leonie I. Johann¹ und Steven Tyrrell²

¹*Nord Universität, Bodø, Norwegen,*

Fakultät für Lehrerbildung, Kunst-und Kultur, Abteilung für Lehrerbildung

²*Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland*

Biology Education Research and Learning Lab

ZUSAMMENFASSUNG

Molekulare Vorgänge an Zellmembranen zu verstehen hat nicht nur wissenschaftliche, sondern auch gesellschaftliche und damit didaktische Relevanz – veranschaulicht zum Beispiel durch die Entwicklung neuer COVID-19 Impfstoffe. Das Thema Zellmembran sinnvoll für die Oberstufe zu gestalten, ist allerdings oft eine Herausforderung für Lehrkräfte und Lehrplanelentwickler:innen, da sich das wissenschaftliche Feld der Molekularbiologie sehr schnell entwickelt, interdisziplinär und teilweise sehr abstrakt, also (für Schüler:innen) nicht direkt erfahrbar ist. Aufbauend auf dem Vergleich von Wissenschaftler:innen und Schüler:innenvorstellungen und deutschen Bildungsstandards der Hochschulreife schlagen wir in diesem Artikel Schwellenkonzepte vor, die es für Schüler:innen mit dem Ziel, die Relevanz von Zellmembranen für unter anderem ihren eigenen Körper zu verstehen, zu überwinden gilt. Darauf aufbauend empfehlen wir konkretes Lernmaterial und Lehrstrategien für das Arbeiten mit Analogien und das Verknüpfen molekularbiologischer Grundlagen der Zellmembranbiologie mit höheren Ebenen biologischer Organisation. Wir hoffen, dass die hier vorgeschlagene Lerneinheit als Impuls für eine direkte Anwendung und Erweiterung im Biologieunterricht fungieren kann.

Schlüsselwörter: Schüler:innenvorstellungen, Zellmembran, Schwellenkonzepte, Lernangebot, biologische Organisationsebenen



Linking organisational levels to make cell membranes tangible: A proposal for student-centered threshold concepts and learning environment for upper grades

Leonie I. Johann¹ und Steven Tyrrell²

¹Nord Universität, Bodø, Norway,

Faculty of Education and Arts, Department for Teacher Training

²Universität Duisburg-Essen, Essen, Germany,

Biology Education Research and Learning Lab

ABSTRACT

Understanding the molecular processes at cell membranes is important not only for scientific reasons but also for its societal and educational significance – evident, for example, in the development of new COVID-19 vaccines. However, the interdisciplinary, rapidly evolving, and often abstract, as in not directly perceivable, nature of cell membrane biology makes it difficult for educators and curriculum developers to create lessons that are meaningful for students. Building on the comparison between scientists' and students' conceptions as well as German Educational Standards for University Entrance, this article proposes threshold concepts that students need to overcome to understand the relevance of cell membranes for, amongst others, their own body. Based on this, we recommend specific learning materials and teaching strategies, such as working with analogies and connecting the molecular biology foundations of cell membrane biology with higher levels of biological organisation. We hope that the learning unit proposed here can serve as a starting point for direct application and further development in biology education.

Key words: student conceptions, cell membrane, threshold concepts, learning opportunities, biological levels of organisation

1 Hintergrund und Ziel

1.1 Bildungsstandards und existierende Forschung zu Zellmembranen

Erkenntnisse über Membranen und die an sie gebundenen molekularen Prozesse zu gewinnen, ist sowohl für die Wissenschaft als auch für die Allgemeinheit wichtig. Diese extrem dünnen, alle Zellen abgrenzenden und gleichzeitig mit der Umgebung kommunizierenden Schichten spielen eine zentrale Rolle für das Verständnis und die Erforschung vieler alltäglicher Gesundheits-Phänomene. Aufgebaut aus unter anderem Omega-3-Fettsäuren und unterschiedlichen Rezeptorproteinen, wie von Wissenschaftlern im so genannten *Fluid-Mosaik-Modell* (siehe Abbildung 1) veranschaulicht, liegen sie zum Beispiel Forschung und Entwicklung von Nahrungsergänzungsmitteln, Impfstoffen wie zuletzt bei Covid-19 oder der Diagnostik und Behandlung Dopamin-bezogener Krankheiten wie Alkoholabhängigkeit zu Grunde.

Im Schulunterricht werden Membranen vor allem in der Oberstufe behandelt. Auch wenn das Thema Membranen aufgrund der Basiskonzeptorientierung in den Bildungsstandards nur spärlich erwähnt wird, weil sie unter das Konzept „Struktur und Funktion“ (KMK, 2020, S.18) fallen, decken sämtliche Inhaltsbereiche der Bildungsstandards im Fach Biologie, und teilweise auch Chemie für die Allgemeine Hochschulreife (KMK, 2020), Themen ab, die sowohl implizit als auch explizit fundierte Kenntnisse über Membranen voraussetzen. Ein Beispiel für implizite Kenntnisse ist der Themenkomplex „Stickstoffkreislauf“ (KMK, 2020, S. 21). Explizite Kenntnisse werden in Inhalten für das grundlegende und das erhöhte Anforderungsniveau wie „Stofftransport zwischen Kompartimenten“, „Feinbau Mitochondrium“, „Bau und Funktion der Nervenzelle“ und „Transkription und Translation“ (KMK, 2020, S. 10–22) beschrieben. Auch beziehen sich letztere auf Themen bezüglich nachhaltige Entwicklung und Gesundheit wie „Abhängigkeit der Fotosyntheserate von abiotischen Faktoren“ (KMK, 2020, S. 20) und „Zusammenhang zwischen aufbauendem und abbauendem Stoffwechsel“ (KMK, 2020, S. 20). Die hier willkürlich getroffene Auswahl an Themenbereichen demonstriert, dass Membranbiologie für fachspezifisches, zelluläres, physiologisches und ökologisches Verständnis, aber

auch fächerübergreifende Einsichten, wie Aufbau und Funktion von Makromolekülen, zentral ist. Existierende Forschung zeigt, dass sowohl das Lernen als auch das Unterrichten des Themas Zellmembranbiologie Schwierigkeiten birgt. Gründe hierfür sind die kombinierte *Abstraktheit* und *Komplexität* des Themas. Mit Abstraktheit meinen wir hier, dass Zellmembranen nicht sensorisch erfahrbar und daher nicht direkt verständlich sind. Membranen können nicht wie Bäume oder Insekten gesehen, gerochen oder angefasst werden. Um sie trotzdem zu verstehen, projizieren wir intuitiv unsere *Vorstellungen* von konkreten, alltäglichen Prozessen oder auch Gegenständen auf diese (Gropengießer, 2007). Im Unterricht, wenn nicht explizit gemacht, kann dies oft zu Missverständnissen führen: Wenn beispielsweise Schüler:innen Zellen intuitiv im Sinne von statischen, gleichaussehenden Behältern verstehen (Riemeier, 2005), laufen sie Gefahr, die Funktion von Zellen und deren Membranen nicht mit deren molekularer Struktur in Verbindung zu bringen.

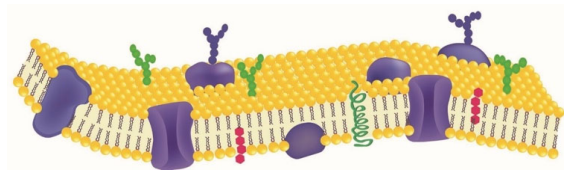


Abbildung 1. Das Fluid-Mosaik-Modell wird von Wissenschaftler:innen allgegenwärtig verwendet, um Struktur-Funktions-Beziehungen von Zellmembranen zu illustrieren und vorherzusagen.

Wenn wir Zellmembranen weiter als komplexes Thema beschreiben, meinen wir damit, dass das Verstehen dieser das schrittweise Erarbeiten und die Vernetzung an Abstraktheit zunehmender Basis- und Schwellenkonzepten erfordert. Als *Basiskonzepte* verstehen wir das Strukturieren von Begriffen (Gropengießer, 2001; Johann, 2022) aus einer Disziplin beziehungsweise *biologischen Organisationsebene* (Zelle, Gewebe, Organe, Organsysteme, Schneeweiß & Gropengießer, 2019; Verhoeff, Waarlo & Boersma, 2008), zum Beispiel *Lipid-Doppelschichten* als chemisches und molekulares Konzept, wonach diese nur von sehr kleinen, oder fettlöslichen Molekülen passiert werden können. Mehrere Basiskonzepte können dann zu einem interdisziplinären *Schwellenkonzept* integriert werden (zum Beispiel Lipid-Doppelschichten als Kompartiment-

bildende, molekulare Konstrukte), das es metaphorisch wie eine Pforte zu durchschreiten gilt (Meyer & Land, 2005; Zabel & Gropengießer, 2011). Im Unterricht oft nicht explizit behandelt, ermöglichen sie Lernenden Zugang zu vorher unzugänglichen Arten des Denkens: Für das Verstehen der natürlichen Selektion als zentraler Evolutionsmechanismus schlugen Tibell und Harms (2017) beispielsweise Zufall und Wahrscheinlichkeit als Schwellenkonzepte vor. Aufbauend auf dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (MDR, Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012), das den theoretischen und methodologischen Rahmen dieser Arbeit bildet, basieren die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Schwellenkonzepte auf dem Vergleich wissenschaftlicher mit Schüler:innenvorstellungen.

1.2 Ziel dieser Arbeit

Existierende Literatur (Hasni, Roy & Dumais, 2016) hat vor allem Hauptaugenmerk auf das isolierte Unterrichten subzellulärer Konzepte wie *Diffusion* und *Osmose* gelegt, oder Schüler:innenvorstellungen nicht konkret in das Design von unterrichtlichem Zellmembranbiologie-Inhalt und Materialien miteinbezogen (Howitt, Anderson, Costa, Hamilton & Wright, 2008; Rundgren & Tibell, 2010).

Das Ziel dieses Beitrags ist es daher, ein für die Forschung als auch Praxis zu überprüfendes Unterrichtsmodell für die schülerzentrierte und Organisationsebenen-verknüpfende Zellmembranbiologie vorzuschlagen, das je nach Kontext adaptiert werden kann.

Aufbauend auf der bereits existierenden empirischen Identifikation und Analyse zentraler Wissenschaftler:innenvorstellungen (Johann, Groß, Messig & Rusk, 2020; Johann, 2022) und Vorstellungen norwegischer Schüler:innen (Johann, Rusk, Reiss & Groß, 2022; Johann, Groß & Rusk, im Druck), und der praktischen Erfahrung des Zweitautors mit Zellmembranbiologie-Schulunterricht in der Oberstufe werden zunächst

- a) Basis- und Schwellenkonzepte erstmals konkret für den deutschsprachigen Zellmembran-Oberstufenunterricht beschrieben und als *Landkarte* graphisch visualisiert, und
- b) im nächsten Schritt mit konkretem, existierendem und neuem in der Zellbiologielite-

ratur beziehungsweise dem Unterricht bewährten Lernmaterial und -strategien zu einer Lernumgebung verknüpft.

2 Wissenschaftler:innen-Vorstellungen von Zellmembranen

Wissenschaftler:innen gehen davon aus, dass die Bildung biologischer Membranen – der spontane Zusammenbau amphiphiler Lipide in wässrigen Umgebungen mit späterer Integration spezifischer Proteine und Kohlenhydrate – früh im Verlauf der Evolution stattgefunden haben muss, weil Membranen für die Existenz von Leben von entscheidender Bedeutung sind. Da Zellen nur aus anderen Zellen entstehen können, ist die Zellmembran damit zusammen mit anderen bestimmten Merkmalen wie einem Zytosol und der DNA allen Organismen gemeinsam.

Wissenschaftler:innen sehen die *Doppelfunktion* von Zellmembranen, begründet durch ihre einzigartige molekulare, in allen Organismen und Zelltypen konservierte Struktur, als Grundlage für ihre evolutionäre Bedeutung: Einerseits ermöglichen sie vor allem durch ihre Lipid-Doppelschicht eine Abgrenzung zwischen dem Inneren und Äußeren eines *Kompartiments*, also die Summe aller gleichartigen Räume, wie Organismus, Zelle, Organelle, oder auch Cytoplasma. Andererseits ermöglicht eine spezielle Proteinzusammensetzung eine selektive Durchlässigkeit (*Permeabilität*) dieser Grenzschicht. So erlauben unterschiedliche Proteintypen, wie Kanäle oder Transporter, den kontinuierlichen, nicht energiegebundenen Stoffaustausch (Diffusion und Osmose) von kleinen, fettlöslichen Stoffen wie beispielsweise Gasen oder auch die energiegebundene Kontrolle größerer, geladener, wasserlöslicher Stoffe wie zum Beispiel Kaliumionen zwischen Organismus und Umwelt (dies kann also die äußere Umwelt, oder aber im Falle von Mehrzellern Flüssigkeit und andere Zellen oder auch das Innere einer eukaryoten Zelle sein, Campbell & Reece, 2017; Watson, 2015). Die stetige Steuerung des Ionenflusses hat dabei unter anderem die Funktion, Gradienten entstehen zu lassen, die es Organismen erlauben, Energie (ATP) für Stoffwechselprozesse zu generieren. In mehrzelligen Organismen, in welchen die meisten Zellen keinen direkten Kontakt zur äußeren Umwelt haben, spielen außerdem Rezeptorproteine eine entscheidende Rolle im Senden, Empfangen

und Kontrollieren inter- und intrazellulärer Nachrichten, in Form von zum Beispiel Hormonen. Dieser konstante Informationsaustausch zwischen benachbarten und weiter entfernten Zellen sorgt dafür, dass das innere Gleichgewicht (Homöostase) eines Organismus aufrechterhalten wird. Da vor allem die Proteinzusammensetzung entscheidend für die Funktion von Membranen ist, sind vor allem Struktur-Funktionsuntersuchungen unterschiedlicher Proteine Gegenstand heutiger Forschung (zum Beispiel Sällman Almén, Nordström & Schiöth, 2009). So spielt zum Beispiel die Erforschung von Rezeptorproteinen eine zentrale Rolle in der Krebs- und Arzneimittelforschung: Als Schaltstellen für Nachrichtenweiterleitung können Störungen in Rezeptor-Signalwegen zu Fehlfunktionen, verursacht durch die Hoch- und Herunterregulierung von für Membranproteine kodierenden Genen, wie der unkontrollierten Vermehrung von Zellen – eines der Kennzeichen von Krebs – oder auch dem Eindringen von Fremdkörpern, wie etwa Viren, führen (Kampen, 2011). Das von Singer und Nicolson vorgeschlagene Fluid-Mosaik-Modell (1972), das 300 Jahre interdisziplinärer Forschung zusammenfasst (Lombard, 2014) wird auch heute noch als zentrale Grundlage verwendet, um die oben beschriebenen Struktur-Funktionsbeziehungen an Zellmembranen empirisch zu erforschen (siehe Abbildung 1). Wie die meisten wissenschaftlichen Modelle ist damit das Fluid-Mosaik-Modell zum einen *exemplarisch*, wird also mit dem sich ständig erweiternden Verständnis der Wissenschaftler:innen ständig adaptiert. Zum anderen hat es den Zweck, einen Membran-Prototypen zu *visualisieren*, der in allen Zelltypen und Spezies erhalten ist: also eine dynamische Doppelschicht (insbesondere Lipide bewegen sich regelmäßig in der Membran), bestehend aus amphiphilen Lipiden mit angehängten Kohlenhydraten und angehängten oder eingebetteten Proteinen.

3 Schüler:innenvorstellungen und zentrale Lernschwierigkeiten in Verbindung mit Zellmembranen

Ein zentrales Medium für das Artikulieren, Formen und Verarbeiten wissenschaftlicher Vorstellungen im Unterricht ist die Sprache. Mit Sprache meinen wir hier äußere *Repräsentationen*, im Gegensatz zu Vorstellungen als innere Repräsentationen, unter-

schiedlicher schriftlicher (wie Gleichungen, Symbole) und verbaler Formen (Lemke, 1990; Rincke & Leisen, 2020).

Für den Unterricht ist zu beachten, dass sich die Sprache der Zellbiologie durch ihre besondere Vielfalt auszeichnet, die teilweise für Schüler:innen schwer nachvollziehbar ist. So verändert sich die Sprache der Zellbiologie durch die bereits erwähnte zunehmende Interdisziplinarität dieses Forschungsgebiets sehr schnell und verwendet eine Vielzahl unterschiedlicher sprachlicher Zeichen (Wörter, Sätze, Modelle, Symbole, etc., Tibell & Rundgren, 2010). Für den Biologieunterricht ist dabei zu beachten, dass sich dadurch oft Eigenwörter entwickeln, die für Schüler:innen schwierig zu verstehen sind, da sie kein alltägliches Korrelat haben (wie zum Beispiel *Genexpression*, Fluid-Mosaik-Modell), oder aber, oft als *Metapher* oder *Analogie* verwendet, eine veränderte und dadurch leicht misszuverstehende Bedeutung haben (zum Beispiel Zelle, Protein, Barriere). In Verbindung mit Zellmembranen werden letztere oft verwendet, um komplexe, dynamische molekulare Prozesse zu vereinfachen. Beispielsweise werden oft Vorstellungen von menschlichem Verhalten (zum Beispiel Zellmembranen „kontrollieren“ Stoffaustausch „zielgerichtet“) oder aber räumlicher Orientierung (Zellen sind wie Räume mit Zellmembranen als *Barrieren* zwischen diesen) auf Zellmembranen projiziert (Johann et al., 2022; Kattmann, 1993; Tibell & Rundgren, 2010). So scheinen Schüler:innen beispielsweise über die Vorstellung von Zellen als in sich abgeschlossenen, rechteckigen Gebilden (Kattmann, 1993) mit einer Zellmembran als einer Art undurchlässigen Barriere (Johann et al., im Druck) zu verfügen. Daraus folgt oft die Vorstellung, dass Membranen analog zu Zellwänden seien. Folglich denken Schüler:innen häufig, dass nur Tierzellen, die keine Zellwände besitzen, Membranen haben und dass diese der Funktion dienen, den Zellkern mechanisch zu beschützen. Da vor allem Oberstufenschüler:innen weiterhin generell Schwierigkeiten zu haben scheinen, physikalische und chemische Prinzipien wie beispielsweise die ungerichtete Bewegung, die Löslichkeit von Stoffen oder aber die Struktur von Makromolekülen wie DNA oder Proteinen auf zelluläre Funktionen zu beziehen (Duncan & Reiser, 2007; Garvin-Doxas & Klymkowsky, 2008; Rundgren & Tibell, 2010), scheinen sie mit der Vorstellung zufrieden, dass Zellmembranen den Stoffaustausch „kontrollieren“, indem sie „wissen“

was für die Zelle am besten ist (Johann et al., im Druck).

Dabei scheinen *Lernschwierigkeiten* nicht nur auf die Verknüpfung physikalischer und chemischer Prinzipien mit zellulären Strukturen und Funktionen begrenzt, sondern auch darauf, sub- und zelluläre Ebenen auf andere biologische Organisationsebenen zu beziehen (Verhoeff et al., 2008). Dadurch tendieren Schüler:innen dazu, molekulare Prozesse wie Diffusion oder den Aufbau von Zellmembranen auswendig zu lernen, ohne zu verstehen, wie sich diese beispielsweise auf physiologische Prozesse auswirken (Hasni et al., 2016), die Schüler:innen aus ihrem Alltag kennen; beispielsweise, warum Sars-Cov-2 vor allem Lungenzellen infiziert, die über einen Sars-Cov-2 kompatiblen Rezeptor verfügen (Johann et al., 2020).

Zusammenfassend können die Lernschwierigkeiten von Schüler:innen in Bezug auf Zellmembranen wie folgt zusammengefasst werden (Johann et al., 2022):

- Fachspezifische Sprache mit oft abgeänderter oder keiner Alltagsbedeutung,
- Vernetzung von Organisationsebenen (molekularer mit zellulärer, etc.) und...
- *Veränderlichkeit* und *Zufall* (als Anpassung an sich verändernde Umweltbedingungen).

4 Empirisch erprobte, schüler:innenzentrierte Unterrichtsstrategien für Zellbiogielernen

Wir sind einig mit Hasni et al. (2016), dass herkömmlicher Zellbiologieunterricht Alltagsvorstellungen, die oftmals unreflektiert sind, tendenziell eher verstärkt. Zum Beispiel liegt der Schwerpunkt im Zellbiologieunterricht oft noch immer darin, Pflanzen- und Tierzellen unterscheiden zu lernen – wie beispielsweise üblich bei der Beobachtung von Zwiebel- und Mundschleimhautzellen unter dem Lichtmikroskop. Allerdings wurde bereits von mehreren Forschern (Clément, 2007; Johann et al., 2020; Riemeier, 2005) darauf hingewiesen, dass dies wenig sinnvoll ist, weil dadurch vermehrt der Fokus auf (vermeintliche) strukturelle und funktionale Unterschiede zwischen diesen Zellen und nicht deren Gemeinsamkeiten, wie etwa Zellmembranen oder DNA, gelenkt wird. Diese Vorstellung wird oft dadurch verstärkt, dass der exemplarische, meist *vorläufige* Charakter wissenschaftlicher Modelle,

die keine Kopie, sondern nur eine Annäherung an die Wirklichkeit sind, im Unterricht oft wenig diskutiert wird (Venville & Treagust, 1996). Dies kann beispielsweise die Vorstellung verstärken, dass alle Zellmembranen den gleichen, wie im Fluid-Mosaik-Modell illustrierten, molekularen Aufbau hätten (Johann et al., im Druck; Rundgren & Tibell, 2010). Aufbauend auf unserer Überzeugung, dass Schüler:innenvorstellungen für Planung und Durchführung von Unterricht zentral sind, ist es sinnvoll, diese im Unterricht explizit zu machen. Dazu scheinen folgende, teils allgemeine, teils spezifisch in der Literatur für die Zellbiologie vorgeschlagenen Lehrstrategien zentral:

- a) Schüler:innen zum verbalen und schriftlichen Artikulieren ihrer Vorstellungen anregen (unter anderem Messig & Groß, 2018).
- b) Schülergenerierte und existierende verbale und schriftliche Analogien nutzen, um Grenzen von Schüler:innenvorstellungen aufzuzeigen (Johann et al., 2020; Riemeier & Gropengießer, 2008; Venville & Treagust, 1996).
- c) zwischen unterschiedlichen Modellformen, wie konkreten, dreidimensionalen und schematischen, zweidimensionalen Zellmodellen wechseln (Johann et al., 2020; Rundgren & Tibell, 2010; Verhoeff et al., 2008).
- d) explizit zwischen biologischen Organisationsebenen wechseln und diese miteinander verknüpfen (Knippels & Waarlo, 2018; Verhoeff et al., 2008).

Wir verstehen in diesem Zusammenhang Analogien nicht als sprachliches Stilmittel, sondern vielmehr als eine Denkstrategie, die explizit Brücken zwischen Abstraktem und Konkretem bildet (Duit, 1991), wie zum Beispiel der explizite Vergleich von Zellteilung mit dem Brechen einer Schokolade (Riemeier & Gropengießer, 2008).

5 Vorschlag und Beschreibung von Schwellenkonzepten und konzeptuellem Lernpfad

5.1 Vergleich Wissenschaftler:innen- und Schüler:innenvorstellungen

Aufbauend auf dem in der Literatur bereits beschriebenen Vergleich der hier vorgestellten Wissenschaftler:innen- und Schüler:innenvorstellungen,

skizzieren wir im Folgenden einen *Lernpfad*, der aus der Verknüpfung von vier Schwellenkonzepten und denen jeweils untergeordneten Basiskonzepten besteht. Dieser Lernpfad hat das Ziel, dass Schüler:innen ihrer Vorstellung von Zellmembranen, analog zu Zellwänden, als äußere Umrandung von Zellen bewusst werden und diese schrittweise zu der Vorstellung ändern, dass Zellmembranen *universelle* Zellstrukturen sind, die alle nach dem gleichen molekularen *Grundgerüst* – einer Lipid-Doppelschicht mit eingebetteten und angehefteten Proteinen und Kohlenhydraten – aufgebaut sind (Johann et al., 2020; im Druck). Dieses Gerüst erlaubt Membranen eine Doppelfunktion zu haben, die Schüler:innen aus dem Alltag nicht kennen und daher nur schwer verstehen können: Zum einen bilden sie Kompartimente, indem sie eine für die meisten Stoffe undurchlässige Barriere zwischen dem Inneren und Äußeren eines Organismus bilden, und zum anderen erlauben sie einen kontrollierten, dynamischen Stoffaustausch zwischen diesen, der es Organismen erlaubt, Energie zu generieren und sich durch ständigen Informationsaustausch an sich ändernde Umweltbedingungen anzupassen (Johann et al., 2020; Lombard, 2014).

Im Folgenden schlagen wir zunächst vier an Komplexität zunehmende, das heißt die schrittweise Integration sowohl chemischer und physikalischer Prinzipien als auch biologischer Organisationsebenen, Schwellenkonzepte mit ihren jeweiligen Basiskonzepten vor. Aufbauend auf dem Vergleich wissenschaftlicher mit Schüler:innenvorstellungen erachten wir diese als zentral für den Zellmembran-Unterricht in der Oberstufe (siehe auch Tabelle 1). Im Zuge dessen erläutern wir auch anhand von in der Literatur beschriebenen Eigenschaften von Schwellenkonzepten (Bergmeister, 2017; Meyer & Land, 2005), warum wir die einzelnen Schwellenkonzepte jeweils als eben jene betrachten. Abbildung 2 visualisiert den Zusammenhang zwischen Schwellen- und ausgewählten Basiskonzepten als konzeptuellen Lernpfad ähnlich einer Landkarte. Im nächsten Schritt beschreiben wir konkret, wie diese Schwellenkonzepte schrittweise in einzelnen Unterrichtsphasen mit jeweiligen Lernzielen, Lernhürden und vorgeschlagenem Lernmaterial umgesetzt werden können (siehe Tabelle 2).

Schwellenkonzept 1: Zellmembranen bilden Grenzen zwischen dem Inneren und Äußeren eines Raumes.

Membranen sind im Gegensatz zu Zellwänden lichtmikroskopisch nicht sichtbar. Das führt bei Schüler:innen oft zu der Vorstellung, dass Pflanzenzellen keine Membranen hätten oder dass Membranen und Zellwände analoge Strukturen seien, die dem Schutz des Zellkerns dienen (Johann et al., 2020; Riemeier, 2005). Die Lernschwierigkeit besteht also zunächst darin, Membranen als Grenze zwischen dem Inneren der Zelle (der Organelle/des Organismus) und dem Äußeren zu verstehen, ohne deren eigentliche Struktur zu sehen.

Eigenschaft: Dieses Schwellenkonzept ist *beschwerlich* (Meyer & Land, 2003). So ist es zum einen kontraintuitiv, dass es Zellmembranen überhaupt gibt, da wir diese selbst mit Hilfe eines Lichtmikroskops nicht sichtbar machen können. Zum anderen scheint ihre Funktion deckungsgleich mit der der Zellwand und daher redundant. Außerdem ist das Schwellenkonzept *transformativ* und *irreversibel*: Wer einmal verstanden hat, dass es ohne Membranen keine Zellen, wie auch ohne Wände keine Zimmer gibt, wird wahrscheinlich nicht mehr die Vorstellung haben, dass nur manche Zellen Membranen hätten. Dies führt möglicherweise auch zu einer veränderten Wahrnehmung von Zellen an sich, nämlich als abgegrenzte Räume, deren Inneres sich vom Äußeren unterscheidet.

Schwellenkonzept 2: Alle Zellmembranen sind aus dem gleichen Gerüst an Molekülen aufgebaut.

Die Lernschwierigkeit liegt oft darin, dass Schüler:innen in der Regel die molekularen Bestandteile von Membranen nicht benennen oder aber benennen können, ohne deren Struktur zu verstehen und daher auch keinen Zusammenhang zur Funktion herstellen können. Dies liegt auch teilweise daran, dass Schüler:innen sich Membranen teilweise als zweidimensionale Linie ohne jegliche Bestandteile vorstellen oder dass Lipide Membranen „füllen“, aber kein funktionaler Bestandteil dieser sind (Johann et al., im Druck; Riemeier, 2005).

Eigenschaft: Vergleichbar mit dem ersten Schwellenkonzept ist dieses *beschwerlich*, da es kontraintuitiv ist, dass etwas, das auf Abbildungen aussieht wie eine Linie, in Wirklichkeit aus einem besonderen

Grundgerüst an Molekülen aufgebaut ist, das in allen Membranen das gleiche ist.

Schwellenkonzept 3: Der besondere molekulare Aufbau von Zellmembranen ermöglicht deren Doppelfunktion: Begrenzung und Stoffaustausch.

Eine potentielle Schwierigkeit ist, dass Schüler:innen Proteine oft alleinig mit Nahrungsmitteln in Verbindung bringen. Dadurch denken sie zum einen, dass Proteine dem Körper von außen zugeführt werden und nicht von der Zelle auch selbst hergestellt werden können. Zum anderen denken Schüler:innen oft nicht an den chemischen Aufbau von Proteinen, der für das Verständnis der mannigfaltigen Rollen von Membranproteinen zentral ist (Johann et al., im Druck).

Eigenschaft: Dieses Schwellenkonzept ist *beschwerlich* und *integrativ* (Bergmeister, 2017). So verbinden wir die Funktionen Begrenzung und Austausch im Alltag eher als gegensätzlich und bringen diese nicht mit ein und demselben Objekt in Verbindung. Außerdem ordnen wir Funktionen oft eher einem Objekt (zum Beispiel einem Fahrrad) und nicht der Summe seiner einzelnen Teile zu.

Schwellenkonzept 4: kontinuierliche Änderungen des molekularen Aufbaus erlauben Anpassbarkeit an sich ändernde Umweltbedingungen.

Generell haben viele Schüler:innen Schwierigkeiten, die Dynamik und Vielfalt biologischer Zellstrukturen zu verstehen (Johann et al., im Druck), was nicht verwundert, da sie durch unter anderem Schulbücher oder durch das Mikroskopieren nur Erfahrung mit statisch, einförmig dargestellten biologischen Strukturen haben.

Eigenschaft: Dieses Schwellenkonzept ist *beschwerlich*, *integrativ* und *transformativ*. So müssen Schüler:innen ihre eben erst erarbeitete Vorstellung, dass alle Membranen aus dem gleichen Grundgerüst aufgebaut sind darum erweitern, dass kleine strukturelle Variationen zu ganz unterschiedlichen, im Alltag nur selten explizit erfahrbaren, Funktionen führen können und dass sich diese mit der Zeit ändern können (zum Beispiel die Regulierung von Rezeptorproteinen). So erfahren wir im Alltag nicht, dass sich Objekte dynamisch an Umweltbedingungen anpassen: Ein Fahrrad entwickelt kein Schutzblech, auch wenn es noch so oft im Regen benutzt wird. Wenn einmal Proteine als die dynamische Grundlage zellulärer Anpassbarkeit verstanden wird, ist es schwer vorstellbar, dass Zellmembranen nur als mechanische Zellhüllen verstanden werden.

Tabelle 1

Die vier hier vorgeschlagenen, an Komplexität zunehmenden, Schwellenkonzepte mit jeweiligen Basiskonzepten

Schwellenkonzepte	Basiskonzepte
1. Zellmembranen bilden Grenzen zwischen dem Inneren und Äußeren eines Raumes.	<ul style="list-style-type: none"> • Membranen erschaffen eigenständige Kompartimente (Räume). • Diese Räume können Zellen, Organellen und Organismen sein. • Membranen sind nicht analog zu Zellwänden. • Membranen sind ein Strukturmerkmal <i>aller</i> Zellen. • In Kompartimenten können spezifische Prozesse, teilweise unabhängig von der äußeren Umgebung ablaufen.
2. Alle Zellmembranen sind aus dem gleichen Gerüst an Molekülen aufgebaut.	<ul style="list-style-type: none"> • Zellmembranen umgeben Zellen nicht wie eine Linie, sondern sind über Moleküle ein räumlicher Bestandteil dieser. • Alle Membranen sind aus einer Doppelschicht aus amphiphilen Lipiden mit integrierten oder angelagerten Proteinen und Kohlenhydraten aufgebaut. • Membranlipide sind amphiphil. Sie bilden in wässriger Lösung automatisch stabile, ringförmige doppelt- (<i>Liposom</i>) oder einschichtige Strukturen (<i>Micelle</i>). • Zellen sind flüssigkeitsgefüllte Hohlräume.
3. Der besondere molekulare Aufbau von Zellmembranen ermöglicht deren Doppelfunktion: Begrenzung und Stoffaustausch.	<ul style="list-style-type: none"> • Lipide sind für die Struktur von Zellmembranen, Proteine für ihre Funktion verantwortlich. • Proteine können, je nach Aufbau, unterschiedliche Funktionen haben.

	<ul style="list-style-type: none"> • Proteine können die Rolle von Transportern unterschiedlicher Stoffe (zum Beispiel für Na⁺ und K⁺), oder auch Rezeptoren für die Bindung von interzellulären Signalmolekülen wie Hormonen (in mehrzelligen Organismen) oder auch Fremdkörpern (wie Viren) sein. • Zellmembranen können nur mit Hilfe von Elektronen- und nicht dem Lichtmikroskop sichtbar gemacht werden, da sie nur etwa 8 nm breit sind. • Forscher nutzen unter anderem das Fluid-Mosaik-Modell, um Zellmembranen zu erforschen und visualisieren. • Wie alle Modelle vereinfacht das Fluid-Mosaik-Modell die (teils unbekannte) Wirklichkeit; es hebt ausgewählte Aspekte hervor, während es andere verbirgt.
<p>4. Kontinuierliche Änderungen des molekularen Aufbaus erlauben Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • In Mehrzellern, wie Menschen, haben unterschiedliche Zelltypen eine unterschiedliche Proteinzusammensetzung in Zellmembranen. • Dies ermöglicht Organismen, sich über kürzere und längere Zeiträume an sich ändernde Umweltbedingungen anzupassen.

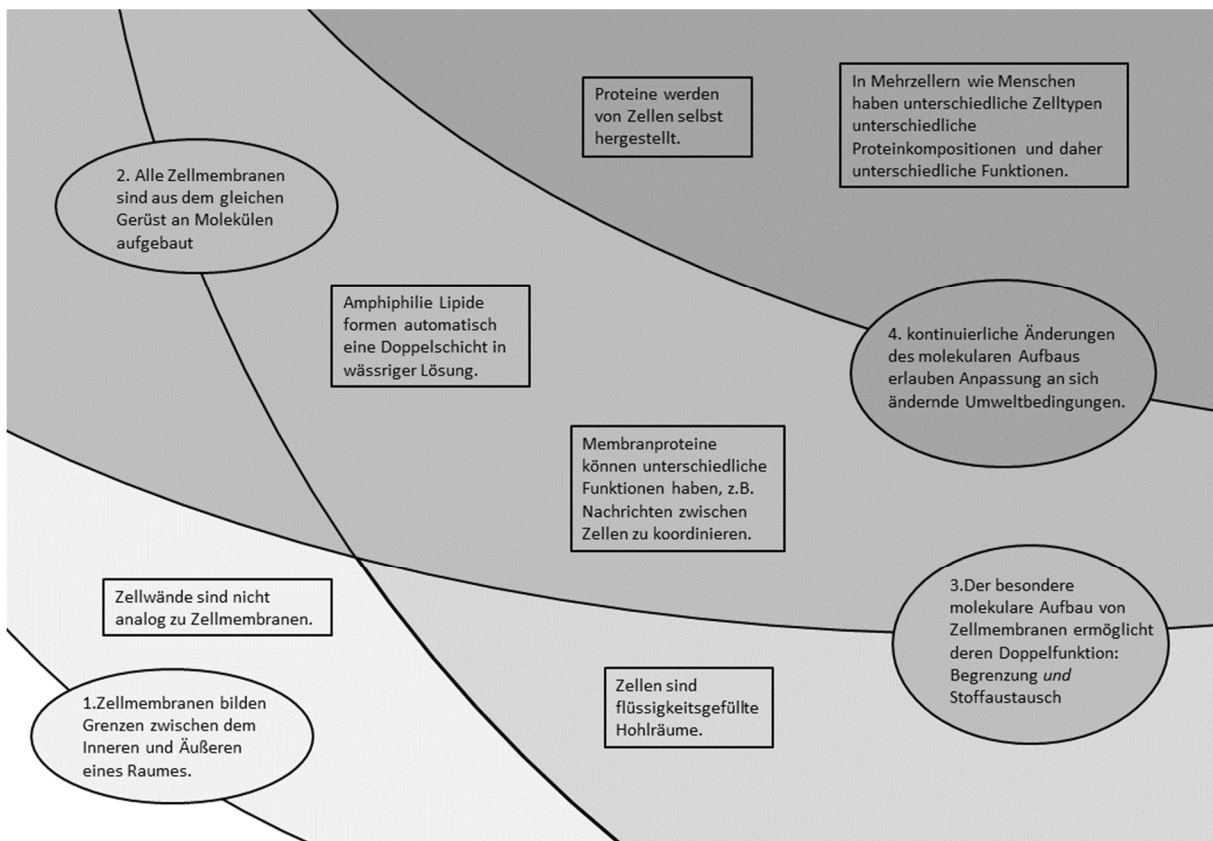


Abbildung 2: Illustration eines konzeptuellen, mäandrierenden Lernpfads, ähnlich dem Herumwandern in einer Landschaft (Zabel & Gropengießer, 2011), zu Zellmembranen. Die nummerierten Kreise stellen die Schwellenkonzepte dar, die es mitsamt ihrer dazugehörigen, hier beispielhaft ausgewählten und teilweise zusammengefügt Basiskonzepte (Kästchen), zu überschreiten gilt. Ihre Position sowie die Flächen und Grenzen, die die Landschaft strukturieren, ergeben sich aus einem gegenseitigen Vergleich von Schüler:innen- und Wissenschaftler:innenvorstellungen gemäß des MDRs. Je weiter oben ein Konzept ist, desto mehr Gemeinsamkeiten hat es mit der Zielvorstellung von Zellmembranen als molekulare Grundlage für das Verständnis physiologischer und evolutiver Prozesse, jeweils auf der Organismus-(des eigenen Körpers) beziehungsweise Zellebene.

6. Vorgeschlagenes Lernangebot

Im Folgenden beschreiben wir den Ablauf eines insbesondere für die Jahrgangsstufe 11 (KMK, 2020), aber auch in Teilen für andere Jahrgangsstufen verwendbaren, konzipierten, mehrstündigen Lernangebots (siehe Tabelle 2). Es besteht aus Lernzielen (basierend auf den oben vorgestellten Schwellen- und Basiskonzepten), empirisch erprobten Unterrichtsstrategien mitsamt Literaturhinweisen, und teils existierendem, teils neu konzipiertem Lernmaterial, das im Anhang hinterlegt ist. Weiter haben wir mögliche Unterrichtsergebnisse zwecks besserer Nachvollziehbarkeit angegeben.

1) Zellmembranen bilden Grenzen zwischen dem Inneren und Äußeren eines Raumes.

Lernziele:

Die Schüler:innen können...

- ...erklären, dass Membranen die Bildung eigenständiger Räume im Sinne von Kompartimenten ermöglichen und deswegen essentieller Bestandteil *aller* Zellen sind, indem sie Pflanzen- und Tierzellen unter dem Lichtmikroskop beobachten und gleichzeitig ein Gedankenexperiment diskutieren.
- ...erläutern, warum Membranen nicht analog zu Zellwänden sind.

Methodik und Lernmaterial:

- Lichtmikroskopie von Mundschleimhautzellen und Wasserpestzellen. Gegebenenfalls müssen die Mundschleimhautzellen angefärbt werden, da diese ansonsten schwierig zu sehen sind.
- *Gedankenexperiment* und Diskussion der *Hausanalogie*: Was hebt diese Analogie hervor, was verbirgt sie?

Um beim Mikroskopieren auftretende Schüler:innenvorstellungen direkt zu adressieren, sollten Schüler:innen zu Beginn des Lernangebots dazu aufgefordert werden, eine Tier- und Pflanzenzelle nach ihrer Vorstellung, wie diese mit Hilfe eines Mikroskops zu sehen sind, zu skizzieren und gleichzeitig verbal zu artikulieren (Hammann & Asshoff, 2024; Wellnitz, 2012).

Dann werden Wasserpest- und Mundschleimhautzellen mikroskopiert und exemplarisch für die anschließende Diskussion von einem Teilnehmenden mit dem Handy durch das Okular abfotografiert. Dieses Bild kann dann für alle sichtbar projiziert und mit den vorher angefertigten Skizzen und einer Abbildung im Buch verglichen werden. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden die Schüler:innen Unterschiede zwischen den Abbildungen feststellen, und, da keine Membranen bei der Wasserpest sichtbar sind, annehmen, dass Membranen und Zellwände analog seien und Pflanzenzellen keine Membran hätten. Dies bietet die Gelegenheit, a) die (Grenze der) Sichtbarkeit von zellulären Strukturen im Lichtmikroskop zu thematisieren und darauf aufbauend zu diskutieren, was die existierenden Modelle gut oder auch weniger gut oder gar missverständlich zeigen (Upmeier zu Belzen, 2013). So werden oft als irrelevant empfundene Informationen (beispielsweise das wässrige Milieu in und um Zellen) in Modellen ausgelassen, die aber für das Schüler:innen-Verständnis eine wichtige Rolle spielen können. Weiter kann b) ein Gedankenexperiment, das die Funktion von Membranen erläutert, von der Lehrkraft initiiert werden. So kann die Lehrperson die Schüler:innen zunächst darum bitten, sich ein Haus mit mehreren Personen und jeweils mit verschiedenen Zimmern beziehungsweise ohne diese vorzustellen, bevor sie fragt, wie sich die Aufteilung in unterschiedliche Räume und die Abgrenzung dieser auf die Funktionalität des Hauses auswirkt. Ziel dieser Überlegung ist es zu verstehen, dass in einem Haus mit mehreren abgetrennten Zimmern theoretisch mehrere Arbeitsabläufe gleichzeitig und unabhängig voneinander ablaufen können. Die Schüler:innen können jetzt versuchen, Analogien zwischen Zimmern und Zellen, Hauswänden und Membranen, Türen und (später) Proteinen, menschlicher Kommunikation und Stoffaustausch zu konstruieren. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Grenzen dieser Gedankenbrücke zu diskutieren, das heißt zu konkretisieren, was diese hervorhebt und was sie verbirgt (Duit, Roth, Komorek & Wilbers, 2001; Johann et al., 2022).

2) Alle Zellmembranen sind aus dem gleichen Gerüst an Molekülen aufgebaut.

Wenn die Schüler:innen im vorherigen Schritt Kompartimentierung als eine der zentralen Zellmembranfunktionen erklären können, können sie im nächsten Schritt für deren molekularen Aufbau sensibilisiert werden.

Lernziel:

Die Schüler:innen können...

- ...erläutern, dass Membranen dreidimensionale, funktionale Komplexe aus Lipiden, Proteinen und Kohlenhydraten sind, indem sie Membranbestandteile nachweisen und die Hausanalogie erweitern.

Methodik und Lernmaterial:

- Experiment zum Nachweis von Membranbestandteilen (ZSL, 2004).
- Vertiefte Diskussion der Hausanalogie und anderer, auch schüler:innen-generierter Analogien (Johann et al., 2022).

Ein geeignetes Experiment, das dieses Lernziel adressiert, ist der experimentelle Nachweis, dass Membranen aus Lipiden und Eiweißen bestehen, wie beispielsweise auf dem Bildungsserver Biologie des ZSL Baden-Württemberg (ZSL, 2004) vorgestellt. Das Experiment setzt voraus, dass Schüler:innen mit dem Bau einer pflanzlichen Zelle vertraut sind. Eine Erinnerung an die erste Lerneinheit ist hier daher angebracht und kann niederschwellig durch Hinweiskarten geschehen, auf denen Schüler:innen die wichtigen Informationen der letzten Einheit und ihre Relevanz beim Experiment nachlesen können (ähnlich wie zum Beispiel von Trendel und Lübeck (2018) vorgeschlagen). Nach der Auswertung des Experiments und der Identifikation der Membranbestandteile, empfiehlt es sich, die Schüler:innen darum zu bitten, ihre Vorstellungen zu artikulieren, um im Folgenden damit weiterzuarbeiten (Krüger, 2007). Tendenziell ist es für Schüler:innen schwierig, zu verstehen, dass Lipide die grundsätzliche Struktur einer Membran bilden, während Proteine ihre Funktion gewährleisten und sich daher notwendigerweise von Membran zu Membran unterscheiden müssen, während die grundsätzliche Struktur die gleiche bleibt (Johann et al., 2022). Die Hausanalogie kann hier eventuell ausgebaut werden (Lipide als Wände, Kanalproteine als Türen, etc.). Ebenfalls müssen wieder die Grenzen der Analogie benannt werden.

Lernziele:

Die Schüler:innen können...

- ...erklären, wie die Begriffe *hydrophil*, *hydrophob* und *amphiphil* mit dem Lösungsverhalten unterschiedlicher Stoffe in Wasser und Öl zusammenhängen, indem sie anhand von Beobachtungen ein Modell formulieren.
- ...erklären, wie sich amphiphile Moleküle in wässriger Lösung *spontan* in eine Ringstruktur strukturieren, indem sie ein *Legemodell* bauen.

Methodik und Lernmaterial:

- Beobachtung, Hypothesenbildung und Erklären des Verhaltens unterschiedlicher Stoffe in wässriger und ölgiger Lösung.
- Hypothesenbildung und Skizzieren eines Teilchenmodells von *Tensiden* in Wasser.

Die Entwicklung der einzelnen Teilkonzepte von *Löslichkeit* ist komplex und wird sich schnell über mehrere Stunden erstrecken müssen. Die vorgeschlagene Methode baut unterschiedliche Teilkonzepte schrittweise auf: Zuerst sollten die Schüler:innen die Begriffe hydrophil, hydrophob, polar und unpolar verstehen, indem sie sie miteinander in Beziehung setzen.

Zunächst werden die Schüler:innen aufgefordert, das Verhalten von Stoffen zu beobachten und zu beschreiben, bevor zentrale Fachbegriffe diskutiert werden. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen dazu, in drei Gläsern jeweils Wasser (H₂O, polar) mit Salz (Na⁺Cl⁻), Salz mit Öl (unpolare Hydrokarbonketten) und Öl mit Wasser zu mischen und die Gefäße zu beobachten (gegebenenfalls kann gerührt werden, so dass sich die Lösungen schneller einstellen) und zu beschreiben was sie beobachten können. Sie sollten benennen können, dass das Salz sich im Wasser (polar), aber nicht im Öl löst, und sich Öl und Wasser nicht miteinander mischen, sondern sich selbst nach heftigem Umrühren wieder schnell entmischen. Hier sollte die Lehrkraft die Schüler:innen auffordern, diese Beobachtungen mit Alltagserfahrungen, wie dem Gebrauch von Detergenzien oder dem Salzen von Nudelwasser, abzugleichen. Je nach Leistungsstärke der Lerngruppe kann diese aufgefordert werden, eine eigene Modellvorstellung der molekularen Prozesse zu formulieren und zu skizzieren. Nachdem die Schüler:innen ihre Ideen formuliert haben,

kann die Lehrperson Jodpulver als einen neuen, unpolaren Stoff einführen, und die Schüler:innen bitten, eine *Hypothese* hinsichtlich dessen Löslichkeit in Wasser und Öl zu antizipieren (Jodpulver löst sich schwer in Wasser und gut in Öl). Zur Überprüfung ihrer Hypothese kann die Lehrperson im nächsten Schritt die Löslichkeit von Jodpulver demonstrieren. Die Ergebnisse lassen eine authentische Diskussion der zuvor entwickelten Modellvorstellungen zu (Fleige, Seegers, Upmeier zu Belzen & Krüger, 2012). Weiter sollte die Lehrkraft eine Diskussion (zum Beispiel anhand von Abbildungen und Modellen) initiieren, in welcher die Schüler:innen erklären, wie Unterschiede in *Elektronegativität* den Ausgangspunkt für *Polarität* bilden, wie der Dipolcharakter von Wasser entsteht und darauf aufbauend wie polare Stoffe beim Lösen in Wasser von einer Hydrathülle (d.h. dass sich die polaren Sauerstoffatome der Wassermoleküle um beispielsweise Na^+ anordnen) umgeben werden und wie hydrophobe Wechselwirkungen unpolare Stoffe in wässrigen Medien zusammenhalten. Ein mögliches Stundenergebnis findet sich im Anhang 1.

Im nächsten Schritt erhalten die Schüler:innen wieder Bechergläser mit Öl und Wasser und Öl, Wasser und Tensiden. Hier sind Tropfen handelsüblichen Spülmittels ausreichend. Sie beobachten das Verhalten der Lösungen und leiten aus ihrer Beobachtung die Wirkung von Tensiden ab: Hydrophobe und hydrophile Substanzen lassen sich zumindest zum Teil mischen, wenn amphiphile Moleküle hinzugegeben werden. Als Ergebnis sollte festgehalten werden, dass Tenside zumindest eine partielle Mischung zweier nicht miteinander löslicher Stoffe möglich machen. Diese Überlegung sollte genutzt werden, um das im vorherigen Schritt entwickelte Modell zu modifizieren und durch zusätzliche Informationen zum Verhalten von Tensiden im Teilchenmodell zu ergänzen. Dies kann durch einen Fachtext oder durch geeignete Abbildungen geschehen. Geeignete Texte finden sich in der Regel in jedem Biologiebuch. Ein mögliches Unterrichtsergebnis findet sich im Anhang 2. Die Erkenntnisse können durch entsprechende Aufgaben vertieft werden. Dafür bietet sich zum Beispiel eine Aufgabe im Kontext der Deep-Water-Horizon-Katastrophe an, bei der Dispergiermittel (Corexit 9500A und Corexit 9527A) eingesetzt wurden, um das Öl in stabile Micellen aufzulösen. Hier können Eigenschaften und Einsatz

von Dispergiermitteln erkundet und in einem authentischen Kontext diskutiert werden (ein möglicher Stundenvorschlag ist zum Beispiel von Achtermann, Behrends und Sieve (2018) gemacht worden) und außerdem die Grundlage für das Verständnis der Micelle als in sich abgeschlossene Ringstruktur gelegt werden.

Im letzten Schritt sollten die Schüler:innen das Verhalten von amphiphilen Molekülen in wässrigen Lösungen modellieren und mit dem Verhalten hydro- und lipophiler Stoffe vergleichen. Dazu erhalten sie zehn (vereinfachte) Modelle von amphiphilen Molekülen, eine Skizze eines Wassergefäßes und den Auftrag die Moleküle so anzuordnen, dass die hydrophilen Teile des Moleküls mit Wasser in Kontakt stehen und die hydrophoben Teile nicht mit Wasser in Berührung kommen. Am Ende der Aufgabe können drei bis vier mögliche Lösungen (unter anderem das Modell der einschichtigen Micelle und des doppelschichtigen Liposoms) identifiziert werden, die als Tafelbild festgehalten werden sollten (siehe auch Johnson & Luft, 2001). Hier ist es relevant, dass die Lösungen aus dem Verhalten der Moleküle im Wasser fachlich gut begründet abgeleitet werden, beispielsweise durch einen Schüler:innen-Vortrag. Die Schüler:innen sollten eine Verknüpfung zur Zellmembran und der bereits diskutierten Hausanalogie herstellen. Hier erscheint uns wichtig, dass die Membranen mit Wänden im Haus analogisiert werden, da sie verschiedene Räume voneinander trennen und so ein Nebeneinander verschiedener Tätigkeiten erlauben, ohne dass sich diese stören. Die Analogie erreicht ihre Grenze, was die Selbststrukturierung und *Fluidität* von Membranen anbelangt. Eine sensible Begleitung des Unterrichtsgesprächs ist sinnvoll, da Schüler:innen dazu tendieren, die Membran-Doppelschicht von Membranen teleologisch zu erklären, in dem Falle, dass eine doppelte Membran den Zellkern besser beschütze als eine einfache (Johann et al., im Druck). Vorschläge für mögliche Lösungen und das Legemodell sind im Anhang 3 dargestellt. Eine Begleitung des Modellierungsprozesses erscheint sinnvoll. Wo erfahrungsgemäß während der Arbeit am Legemodell Schüler:innen ihre Lösungen noch alltagssprachlich als „Höhle“ oder „fettige Blasen“ bezeichnen, sollten die Lehrkraft diese Begrifflichkeiten mit den angemessenen Fachbegriffen in Beziehung setzen können.

Lernziele:

Die Schüler:innen können...

- ...erklären, wie Diffusion verläuft, indem sie ungerichtete Stoffverteilung in Wasser beobachten und diese Beobachtungen in ein Teilchenmodell einordnen.
- ...erläutern, was der Begriff semipermeabel bedeutet, indem sie die Plasmolyse/Deplasmolyse im Mikroskop beobachten.
- ...diskutieren, wie molekulare Transporte und physiologische Prozesse zusammenhängen, indem sie die Desensibilisierung bei Nikotinkonsum untersuchen.

Methodik und Lernmaterial:

- Beobachtung von Tinte in Wasser und mikroskopische Beobachtung von Plasmolyse.
- Den Begriff Barriere diskutieren, indem die alltägliche mit der für die Membran zutreffende Bedeutung verglichen wird.
- Alltagsbeispiele wie das Konservieren von Nahrungsmitteln erläutern, um molekulare Prozesse mit zellulären und physiologischen zu verknüpfen.

Um mit der Lerngruppe die Idee zu entwickeln, dass Membranen semipermeabel, molekulare Barrieren sind, müssen die Schüler:innen zuerst ein Grundverständnis von Diffusion entwickeln. Missverständnisse können dadurch auftreten, dass Schüler:innen oft die ständige und zufällige Bewegung von Stoffen als auch deren Ladung außer Acht lassen. Daher gehen sie oft davon aus, dass Stofftransport gerichtet ist und von der Membran „kontrolliert“ wird, und zudem abgeschlossen ist, sobald ein Konzentrationsausgleich stattgefunden hat (Hasni et al., 2016; Johann et al., 2022). Um den Begriff Diffusion zu erarbeiten, können die Schüler:innen zum Beispiel das Verhalten von Tinte, die vorsichtig in jeweils eine Schale mit sehr kaltem, sehr heißem und mittelwarmem Wasser getropft wird, beobachten und beschreiben. Geschieht dies weitestgehend erschütterungsfrei, kann man leicht sehen, dass die Tinte sich selbstständig zu verteilen beginnt und die Ausbreitungsgeschwindigkeit proportional zur Temperatur ist. Anhand dieser Beobachtung können die Schüler:innen selbstständig ein Modell der Diffusion und

abhängiger Variablen entwickeln. Weitere Faktoren, die die Diffusion beeinflussen, können dann zusätzlich eingeführt werden, wie zum Beispiel Konzentrationsgefälle und Molekülgröße. Hier ist es auch wichtig, dass die Lehrkraft zusammen mit den Schüler:innen die molekularen Vorgänge nicht isoliert betrachtet, sondern kontinuierlich Brücken zwischen molekularen, zellulären und biologischen Prozessen wie der Zellatmung herstellt (Hasni et al., 2016). Dies kann am Beispiel der inneren Mitochondrienmembran geschehen, die nicht nur Reaktionsräume trennt, sondern auch zum Aufbau des Protonengradienten dient, der die ATPasen schlussendlich antreibt.

Um von der Diffusion zu Osmose zu kommen, können Experimente mit Osmometern hilfreich sein.¹ An einem Osmometer können die Schüler:innen die Bewegung von Wasser entlang eines Konzentrationsgradienten verfolgen und, falls mehrere Osmometer zur Verfügung stehen, auch die osmotische Wirkung verschiedener Stoffe und Konzentrationen überprüfen. Mittels dieser Beobachtung kann das zuvor entwickelte Modell der Diffusion ergänzt und modifiziert werden. Mögliche Unterrichtsergebnisse, die sich für beide Varianten einsetzen lassen, finden sich im Anhang 4. Auch hier ist es wichtig, den Zusammenhang zu physiologischen, den Schüler:innen bekannten Prozessen, herzustellen. Beispielsweise kann diskutiert werden, warum das Trinken von Salzwasser für Menschen, die meisten anderen Tiere und Pflanzen gefährlich ist, und analog dazu, warum die Hinzugabe von Salzen zur Konservierung von Nahrungsmitteln genutzt werden kann. Darauf aufbauend können die Schüler:innen eine Hypothese darüber entwickeln, was passiert, wenn Pflanzenzellen einer gesättigten Zuckerlösung ausgesetzt werden (Plasmolyse). Wenn diese Hypothesen fixiert wurden, kann die Lerngruppe eine lichtmikroskopische Beobachtung von roten Küchenzwiebeln, welche sich aufgrund der gut sichtbaren Vakuole besonders gut eignen, in einer gesättigten Zuckerlösung und in destilliertem Wasser durchführen, um ihre Hypothesen zu überprüfen. Plasmolyse und Deplasmolyse können leicht ausgelöst werden, indem die Lösungen mittels eines saugfähigen Papiers unter dem Deckgläschen hindurchgezogen werden. Normalerweise kann der Vorgang mehrfach

¹ Falls keine Osmometer zur Verfügung stehen, existieren geeignete Alternativen. Der Landesbildungsserver Baden-Württemberg zum Beispiel bietet eine ganze Reihe unterschiedlicher Experimente an (ZSL, 2004).

am gleichen Objekt durchgeführt werden und ist einfach durch das Mikroskop zu beobachten. Mögliche Unterrichtsergebnisse finden sich im Anhang 5. Die Beobachtungen bieten erneut einen authentischen Anlass, um den fachlichen Kontext zu diskutieren und die zuvor formulierten Hypothesen zu überprüfen.

Schwellenkonzept 3) Der besondere molekulare Aufbau von Zellmembranen ermöglicht deren Doppelfunktion: Begrenzung und Stoffaustausch.

Im nächsten Schritt ist es wichtig, dass die Schüler:innen ihr Membranmodell, das bisher vor allem aus Lipiden besteht, um die (zahlreichen) Funktionen von Proteinen erweitern.

Lernziel:

Die Schüler:innen können...

- ...unterschiedliche Membranproteine und ihre Funktion erklären, indem Sie ein Modell zu Membranproteinen erarbeiten.
- ... das Fluid-Mosaik-Modell erklären, indem sie selbst Membranmodelle erarbeiten.

Methodik und Lernmaterial:

- Einsatz von *Concept Cartoons*, um mit Schüler:innenvorstellungen zu arbeiten.
- Überarbeitung des Lipid-Modells zum Fluid-Mosaik-Modell.
- Erarbeitung der Faltbarkeit von Proteinen mittels Citizen-Science-Computerspiel *fold.it* online.
- Experiment zur Denaturierung von Proteinen.

Um die Schüler:innen zur Artikulation eigener Vorstellungen zur Unterscheidung essentieller und nicht-essentieller *Aminosäuren* und deren Herkunft anzuregen, können *Concept Cartoons* verwendet werden² (siehe Anhang 6). Den Schüler:innen wird der *Concept Cartoon* präsentiert und sie werden aufgefordert, sich die unterschiedlichen Positionen zunächst individuell durchzulesen und Argumente zu formulieren, warum sie einer der vier Positionen zustimmen, oder eine eigene zu benennen, bevor sie diese zunächst in einer Kleingruppe und dann mit

der ganzen Klasse diese Positionen diskutieren und eventuell revidieren (Krüger, 2007). Die möglichen Positionen sind so ausgewählt, dass sie in ihrer Formulierung gängige Schüler:innenvorstellungen, wie teils oben beschrieben, spiegeln und auch Variationen der richtigen Antwort enthalten, so dass die Schüler:innen in der Regel nicht sofort erkennen können, was die fachlich korrekte Position ist (Hamann & Asshoff, 2024). Aus der Vielfalt der Positionen leitet sich zum einen ein authentischer Anlass ab, mit der Klasse mit Hilfe von Biologiebüchern oder geeigneter Netz-Recherche herauszuarbeiten, was tatsächlich die korrekte Antwort ist, zum anderen kann die Lehrkraft einen guten Einblick in die Vorstellungen der Schüler:innen gewinnen, um diese im weiteren Verlauf des Unterrichts zu berücksichtigen.

Um im nächsten Schritt Verständnis für den molekularen Aufbau und die unterschiedlichen Rollen von Membranproteinen zu entwickeln, können die Schüler:innen beispielsweise mit einem Legemodell, bestehend aus schematisch dargestellten Phospholipiden und Proteinen, arbeiten. Weiter sollten die Schüler:innen auch dazu aufgefordert werden, selbst vereinfachte Molekülmodelle herzustellen, die Struktur-Funktionsbeziehungen veranschaulichen.

Geeignetes Material zum Legemodell und zur Membranzusammensetzung findet sich im Anhang 7. Die Aufgabe besteht darin, die schematischen Proteine in das existierende Lipid-Doppelschichtmodell zu integrieren (Anhang 3), indem die Schüler:innen, basierend auf der Struktur der Proteine, auf deren unterschiedliche Funktionen als beispielsweise Kanalproteine oder Rezeptoren schließen. Dadurch soll erreicht werden, dass sie ein vertiefendes generelles Verständnis von Struktur und Funktion der Membran entwickeln, das heißt, ein Verständnis davon, dass Lipide und Proteine zusammen Zellmembranen bilden und für deren Funktion als fettige, semipermeable Barrieren verantwortlich sind. Dabei sollten Schüler:innen auch über den Begriff *Fluid Mosaik* (illustriert sowohl die fluide Eigenschaft als auch mosaikartige Anordnung von Proteinen) diskutieren, beispielsweise, indem sie eine Abbildung des Fluid-Mosaik-Modells beschreiben. Als Vorbereitung auf die letzte Lerneinheit

² Die norwegische Seite für Unterrichtsmaterial <https://www.naturfag.no/side/vis.html?tid=1233983> eignet sich als Inspiration für Design und Inhalt unterschiedlicher *Concept Cartoons*.

können Schüler:innen bereits versuchen, zu erklären, dass und wie Membranen verschiedene Funktionen in unterschiedlichen Zelltypen und Organismen wahrnehmen können, inwiefern Membranen sich kontinuierlich selbst, unter anderem durch die Einbettung neuer Proteine, neu strukturieren.

Weiterhin ist zentral, dass die Schüler:innen verstehen, dass die *schematische* Darstellung der Proteine nicht deren unterschiedliche Aminosäurestruktur oder Faltung zeigt. Deshalb ist es wichtig, dass die Schüler:innen schrittweise ein Verständnis der Begriffe Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur erarbeiten, indem sie erklären können, wie diese Ebenen sich beeinflussen und zur Faltung des Proteins führen. Da die Fehlfaltung von Proteinen die Ursache vieler Krankheiten, wie unter anderem vieler Krebsformen oder BSE ist, ist sie ein zentraler Forschungsgegenstand. Einsicht in dieses Forschungsthema können die Schüler:innen beispielsweise durch das online *Citizen-Science-Computerspiel fold.it* erlangen, in welchem Laien an realer wissenschaftlicher Forschung teilnehmen können, indem sie versuchen, komplexe Proteinfaltungen zu modellieren. Mittels der Simulation können die Schüler:innen erkunden, wie die Primärstruktur eines Proteins mit der Sekundär- und Tertiärstruktur zusammenhängt. Hier kann auch erprobt werden, wie alternative und pathologische Faltungen zustande kommen und die Schüler:innen können den Gedanken entwickeln, dass Struktur und Funktion eines Proteins zusammenhängen.

In diesem Zusammenhang kann auch die Milieuabhängigkeit von Enzymen und deren Zerstörung durch Hitze thematisiert werden. Diesen Vorgang kennen die Schüler:innen aus dem *Alltag*, zum Beispiel, wenn Eier beim Kochen fest werden. Hierfür eignet sich ein Experiment, in welchem Wasserstoffperoxid von Katalase umgesetzt wird. Das Milieu innerhalb eines Reagenzglases lässt sich leicht kontrollieren. So können der pH-Wert, die Temperatur und der Salzgehalt usw. einfach passend eingestellt werden, um die Wirkung der jeweiligen Faktoren zu überprüfen. Eine mögliche Lernumgebung wurde bereits vom Land Baden-Württemberg veröffentlicht (LBS Baden-Württemberg, 2024).

Im letzten Schritt sollen Schüler:innen Membranen als dreidimensionales Gebilde und Teil der Zelle erarbeiten (Johann et al., im Druck). Dazu können die Schüler:innen zum Beispiel zuerst in Einzelarbeit

ein Konzept für ein (dreidimensionales) Strukturmodell einer Membran basierend auf dem Fluid-Mosaik-Modell entwickeln. Die Schüler:innen können sich dann in Gruppen über ihre Ergebnisse austauschen und auf ein Konzept einigen, auf dessen Basis sie dann ein Modell aus einfachem Bastelmaterial bauen. Erfahrungsgemäß reichen dafür Materialien aus, wie sie in Bastel- oder Lebensmittelläden leicht und kostengünstig in großer Zahl zu erwerben sind: Zahnstocher oder Trinkhalme, Styroporkugeln, Luftballons, Kleber, Weingummi oder Ähnliches (Johann et al., 2022). Die Modelle können dann in der Klasse präsentiert werden. Dabei sollte, wie bereits zuvor, zentraler Diskussionsgegenstand sein, was die Modelle hervorheben und gegebenenfalls gut veranschaulichen, aber auch was sie verbergen oder vereinfacht oder sogar falsch darstellen (Fleige et al., 2012; Upmeier zu Belzen, 2013). Zwangsläufig zeigen beispielsweise solche Modelle weder die Beweglichkeit der Membranbestandteile noch die Reparaturfähigkeit der Membran (Rundgren & Tibbell, 2010), beziehungsweise die Einbettung in wässrige Milieus und die Einbettung der Membran in das zelluläre Endomembransystem (Johann, 2024).

Schwellenkonzept 4) Kontinuierliche Änderungen des molekularen Aufbaus erlauben Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen.

Der letzte Lernschritt in dieser Einheit soll den Schüler:innen eine Möglichkeit geben, ihr Verständnis für molekulare und zelluläre Zusammenhänge, also die Beweglichkeit der Membran und *Dynamik* ihrer Bestandteile, auf – für sie relevante – körperliche Phänomene anzuwenden. Existierende Forschung (Hammann, 2019; Schneeweiß & Gropengießer, 2019) zeigt, dass das Konzeptverstehen in der Biologie dadurch gefördert werden kann, dass Schüler:innen lernen, explizit zwischen den oben genannten biologischen Organisationsebenen hin- und her-zudenken. Dieser Denkprozess wird in vergleichbarer Literatur auch *Jojo-Strategie* genannt (Knippels & Waarlo, 2018).

Lernziel:

Die Schüler:innen können...

- ...erklären, wie eine sich ändernde Lipid- und Proteinzusammensetzung Organismen ermöglicht, sich an ändernde Umweltbe-

dingungen anzupassen, indem sie die Veränderungen von Membranen nach längerem Nikotinkonsum erkunden.

Methodik und Lernmaterial:

- Kontextualisiertes Problemlösen am Beispiel von Nikotinkonsum.

In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich, physiologische Beispiele zu wählen, mit denen Schüler:innen Alltagserfahrungen haben. In diesem Sinne, weil auch von großer gesellschaftlicher Relevanz, kann es zum Beispiel sinnvoll sein, die Wirkung von wiederholtem Konsum von Opioiden, Nikotin und/oder Koffein auf der Organismusebene (also dem eigenen Körper) mit dem Ziel zu diskutieren, dass die Schüler:innen physiologische Prozesse wie diese auf der molekularen Ebene erklären können (Duncan & Reiser, 2007). Mit den Schüler:innen kann das Phänomen der Abhängigkeit und Abstinenz anhand eines Fachartikels, aber auch eigenen Erfahrungen präsentiert werden. Die meisten Schüler:innen werden in dem Alter entweder selbst Erfahrung mit dem Kaffeetrinken oder Rauchen gemacht haben, oder kennen jemanden, der dies hat.

Im Körper löst ein erhöhter Nikotinkonsum eine vermehrte Produktion von Botenstoffen wie Dopamin im Gehirn aus, was wiederum zu einem erhöhten Verlangen nach Nachschub führt. Um auf die erhöhte Nikotinzufuhr reagieren zu können, werden im Zellkern vermehrt Gene „angeschaltet“, die für Nikotinrezeptoren kodieren. Wird dann der Nikotinkonsum eingeschränkt, können (überzählige) Rezeptoren kein Nikotin mehr binden. Die führt zu körperlichen Entzugserscheinungen wie gesteigertem Appetit, Ruhelosigkeit und Aggression, die bis zu einem Monat anhalten können (Brunzell, Stafford & Dixon, 2015). Auf Basis der molekularen Grundlagen können die Schüler:innen Fragen und Vermutungen für ähnliche Phänomene, wie erhöhtem Koffeinkonsum, oder wesentlich gravierender – Opioid- oder Heroinkonsum – formulieren, und auch darüber reflektieren, wie sie mit ihrem neuen Wissen Therapieansätze formulieren können (pharmakologisch zum Beispiel über Agonisten und Antagonisten von Nikotin). Um die hier vorgestellten Beispiele deutlich mit der Zellmembran in Verbindung bringen zu können, ist es an dieser Stelle wichtig, dass die Lehrkraft die Aufmerksamkeit der Schüler:innen wieder gemäß der Jojo-Strategie (Knippels & Waarlo,

2018) auf ihre Legemodelle und damit auch die Beweglichkeit der Membran im Sinne ihrer molekularen Bestandteile, vor allem der Proteine, lenkt. Mögliches Material, um diesen Sachverhalt im Kontext der Opioidabhängigkeit zu thematisieren, die in den zentralen Bestandteilen analog funktioniert, findet sich im Anhang 8.

7. Limitationen

Es ist nicht zu erwarten, dass die Lernumgebung in ihrer hier beschriebenen Abfolge und Fülle in der Praxis direkt so umzusetzen ist, weil dazu ein erhebliches Zeitfenster über mehrere Unterrichtsstunden gegeben sein muss, das im ohnehin vollen 11. Schuljahr nur schwer von Lehrer:innen zu erschaffen ist. Es ist zudem wahrscheinlich, dass Phasen der Wiederholung und Übung eingeschoben werden müssen, zum einen, um Schüler:innen eine vertiefende Beschäftigung mit dem anspruchsvollen Stoff zu ermöglichen, zum anderen, weil eventuell leistungsschwächere Schüler:innen an den Stoff anschließen müssen.

Weiter kann das hier vorgeschlagene Lernangebot von Lehrkräften sowohl in der Vorbereitung als auch der Durchführung eventuell als herausfordernd empfunden werden: Es erfordert ein relativ großes Maß an fachdidaktischer, pädagogischer und sachlicher Kompetenz (Shulman, 1987), um sowohl gängige Schüler:innen- als auch Wissenschaftler:innenvorstellungen verstehen zu können. Im Unterricht zeigt sich dies dadurch, dass Lehrkräfte wechselnde Rollen, die hier nicht immer eindeutig beschrieben wurden, mal als *Moderator*, mal als aufmerksamer *Zuhörer*, einnehmen können sollten (Steffe & d'Ambrosio, 1996).

Weiter möchten wir auf methodische und inhaltliche Lücken bezüglich der hier vorgeschlagenen Schwellenkonzepte, Lernmaterialien und Lernumgebung hinweisen: Für Lehrkräfte ist wichtig zu beachten, dass zwar die meisten hier vorgestellten Lernmaterialien und Unterrichtsstrategien hinsichtlich von Schüler:innenvorstellungen mit deutschsprachigen Oberstufenschüler:innen erprobt und auch oftmals in der Literatur beschrieben sind, allerdings manche (wie beispielsweise die Hausanalogie) bisher nur im norwegischen Kontext mit Schüler-Kleingruppen getestet wurden, in welcher die Lehrerin (Erstautorin) in großem Maße auf individuelle Schüler:innen eingehen konnte, was oft in der gesamten Klasse

schwierig ist. In dieser Hinsicht ist es uns allerdings wichtig zu erwähnen, dass davon ausgegangen werden kann, dass Schüler:innen unabhängig ihres Herkunftslands, Geschlechts und teilweise auch Alters über sehr ähnliche Vorstellungen von Zellen zu verfügen scheinen (Kattmann, 2016; Riemeier, 2005). Viele der hier vorgeschlagenen Lehrstrategien setzen in dieser Hinsicht voraus, dass Schüler:innen Vorstellungen, vor allem mündlich, artikulieren können. Um die Inklusion auch derer Schüler:innen zu gewährleisten, denen mündliches Formulieren Schwierigkeiten bereitet, ist es wichtig, dass Lehrkräfte Schüler:innen darüber hinaus auch andere sprachliche Möglichkeiten, wie beispielsweise schriftliche oder bildliche, bieten, ihre Vorstellungen zu formulieren. Inhaltlich zielen die hier vorgestellten Schwellenkonzepte vor allem auf ein übergeordnetes Verstehen von Struktur-Funktionsbeziehungen von Zellmembranen, in denen beispielsweise Enzyme nur eine untergeordnete Rolle spielen. Dies sollte von Lehrkräften beachtet werden, wenn sie zum Beispiel die Entstehung von Nervenimpulsen im Unterricht behandeln wollen.

8. Fazit und Ausblick

Zellmembranen sind zentraler Gegenstand wissenschaftlicher Forschung als auch Oberstufenunterrichts. Das Verstehen ihres molekularen Aufbaus ist aus zwei Gründen wichtig:

- a) Es ermöglicht uns, die Ursache vieler systemischer Krankheiten unseres eigenen Körpers, wie Krebs oder aber auch Virus-Infektionen, besser zu verstehen, und darauf aufbauend zielgerichtet Arzneimittel entwickeln zu können.
- b) Das Verstehen, dass der molekulare Grundaufbau alle Organismen eint, trägt dazu bei, eine der Hauptaufgaben modernen Biologieunterrichts zu erreichen (Duncan & Borerwinkel, 2018; Reiss & White, 2014): den Menschen phylogenetisch an der Seite – und nicht an der Spitze – aller anderen Spezies dieser Erde einteilen zu können. So unterscheidet vor allem der Proteinaufbau menschliche Membranen von denen prokaryotischer Zellen.

Der besondere Beitrag dieser Arbeit liegt darin, dass wir, anders als existierende Arbeiten (zum Beispiel Rundgren & Tibell, 2019) und erstmals im Kontext

deutschsprachigen Oberstufenunterrichts Schüler:innenvorstellungen zu Zellmembranen konkret im Design von Unterrichtsinhalt (den Schwellenkonzepten), Lernmaterial und Lehrstrategien berücksichtigen. Wir meinen, dass dadurch in der Literatur beschriebene Lernschwierigkeiten (Hasni et al., 2016), einhergehend mit der Komplexität und Abstraktheit des Themas, umgangen werden können, weil es Schüler:innen ermöglicht wird zu verstehen, wie die molekulare Organisation von Membranen für sie bekannte physiologische Erscheinungen, wie die schrittweise geschehende Anpassung an Koffein oder Nikotin, erklären und beeinflussen kann. Wir schlagen in dem Sinne vor, dass die besondere Berücksichtigung von (Membran-)Proteinen für die Verknüpfung biologischer Organisationsebenen im Rahmen der Zellmembran zentral ist. Dies überschneidet sich auch mit Ergebnissen aus der Molekulargenetikdidaktik (zum Beispiel Duncan & Reiser, 2007; Knippels & Waarlo, 2018).

Das hier vorgeschlagene Lernmaterial ist praxisorientiert, das heißt, dass es Lehrer:innen ohne großen finanziellen und zeitlichen Aufwand, beispielsweise anhand von analogiebasierten Gedankenexperimenten, möglich sein soll, lernförderlichen Zellmembranunterricht zu gestalten. In dem Sinne liefert diese Arbeit auch über das Thema Zellmembranen hinaus Einblicke und Inspiration in das Arbeiten mit Analogien, Metaphern und Modellen, die von Lehrkräften auch in anderen abstrakten und komplexen Unterrichtsbereichen anwendbar sein können. Unsere Arbeit schließt sich in dem Sinne der Ansicht von Kattmann (1993) und Lemke (1990) an, dass Sprache für das (Biologie)-Lernen und -Lehren zentral ist.

Wir haben weiter oben bereits angedeutet, dass die hier skizzierte Unterrichtseinheit Ausgangspunkt für verschiedene anschließende Einheiten sein kann. Naheliegend ist es, neben Rezeptor- und Kanalproteinen, Enzyme als weiteres Beispiel zentraler Proteinfunktionen einzuführen, welche hier nicht im Fokus standen, und mit der Zell- und Organismusebene in Verbindung zu bringen: So könnten beispielsweise Inhaltsfelder zur Neurologie, Stoffwechsel- und Sportphysiologie thematisch einfach anschließende Abschnitte sein.

Abschließend möchten wir auf drei Aspekte hinweisen, die basierend auf unserer Arbeit in der Zukunft sowohl methodisch als auch inhaltlich interessant für die biologische Lehr-Lernforschung und Praxis

sein könnten: 1) Die Gestaltung von Unterrichtsinhalt als eine Kooperation zwischen Lehrer:innen und Wissenschaftler:innen, 2) das konkrete empirische Arbeiten mit Schwellenkonzepten und deren Vernetzung in der biologiedidaktischen Forschung und Lehrer:innenausbildung, und 3) eine kritische Auseinandersetzung mit existierenden Lernmaterialien bezüglich deren Lernförderlichkeit für den Oberstufenbiologieunterricht, zum Beispiel auch im Hinblick

auf Proteine, die eine zentrale Rolle in heutiger, interdisziplinärer Biologieforschung spielen, aber im Unterricht oft noch relativ wenig Beachtung zu bekommen scheinen.

Wir würden uns über Rückmeldungen von Lehrer:innen freuen, die die Praxistauglichkeit der hier vorgeschlagenen Konzepte und Lernmaterialien in ihrem Klassenzimmer ausprobieren.

Übersicht des hier vorgestellten Lernangebots

Schwellenkonzepte	Gekürzte Lernziele: Die Schüler:innen können..	Methode und exemplarisches Lernmaterial
1. Zellmembranen bilden Grenzen zwischen dem Inneren und Äußeren eines Raumes.	<ul style="list-style-type: none"> ...erklären, dass Membranen die Bildung eigenständiger Räume ermöglichen und deswegen essentieller Bestandteil <i>aller</i> Zellen sind. ...erläutern, warum Membranen nicht analog zu Zellwänden sind. 	<ul style="list-style-type: none"> Vergleichende Lichtmikroskopie von Mundschleimhaut- und Wasserpestzellen Gedankenexperiment: Hausanalogie
2. Alle Zellmembranen sind aus dem gleichen Gerüst an Molekülen aufgebaut.	<ul style="list-style-type: none"> ...erläutern, dass Membranen funktionale Komplexe aus Lipiden, Proteinen und Kohlenhydraten sind. ...erklären, wie die Begriffe hydrophil, hydrophob and amphiphil mit dem Lösungsverhalten unterschiedlicher Stoffe in Wasser und Öl zusammenhängen. ...erklären, wie sich amphiphile Stoffe in wässriger Lösung spontan in eine Ringstruktur strukturieren. ... erklären, wie Diffusion verläuft, indem ungerichtete Stoffverteilung in Wasser beobachtet wird. ...erläutern, was der Begriff semipermeabel bedeutet. ...diskutieren, wie molekulare Transporte und physiologische Prozesse zusammenhängen. 	<ul style="list-style-type: none"> Experiment zum Nachweis von Membranbestandteilen Analoges Denken vertiefen Beobachtung, Hypothesenbildung und Erklären des Verhaltens verschiedener Stoffe in wässriger und öliger Lösung. Hypothesenbildung und Skizzieren eines Teilchenmodells von Tensiden in Wasser Demonstrationsversuche und mikroskopische Beobachtung Gruppendiskussion des Begriffs „Barriere“ und von Alltagsbeispielen wie das Konservieren von Nahrungsmitteln aufgrund von Osmose
3. Der besondere molekulare Aufbau von Zellmembranen ermöglicht deren Doppelfunktion: Begrenzung <i>und</i> Stoffaustausch.	<ul style="list-style-type: none"> ...unterschiedliche Membranproteine und ihre Funktion erklären, indem sie ein Modell zu Membranproteinen erarbeiten. ... das Fluid-Mosaik-Modell erklären. 	<ul style="list-style-type: none"> Überarbeitung des Lipid-Modells zum Fluid-Mosaik-Modell. Citizen science online-Computerspiel <i>fold.it</i> Experiment zur Denaturierung von Proteinen
4. Kontinuierliche Änderungen des molekularen Aufbaus erlauben Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen.	<ul style="list-style-type: none"> ...erklären, wie eine sich ändernde Lipid- und Proteinzusammensetzung Organismen ermöglicht, sich an ändernde Umweltbedingungen anzupassen. 	<ul style="list-style-type: none"> Kontextualisiertes Problemlösen am Beispiel von Opioidkonsum.

Literatur

- Achtermann, K.; Behrends, S. & Sieve, B. (2018). *Deepwater Horizon - Die Bekämpfung einer Ölpest im Modell*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20282.08644>
- Bergmeister, F.M. (2017). Schwellenkonzepte als Zugänge fachlichen Verstehens– Wege zur differenzierten Erschließung komplexer(ökonomischer) Basiskonzepte im GW-Unterricht. *GW-Unterricht*, 147, 16–25. <https://doi.org/10.1553/gw-unterricht147s16>
- Brunzell, D. H., Stafford, A. M. & Dixon, C. I. (2015). Nicotinic receptor contributions to smoking: insights from human studies and animal models. *Current Addiction Reports*, 2(1), 33–46. <https://doi.org/10.1007/s40429-015-0042-2>
- Campbell, N. A. & Reece, J. B. (2017). *Campbell biology*. Pearson.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649–672. <https://doi.org/10.1002/sci.3730750606>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science¹. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Cultural Perspectives in Science Education*. SensePublishers (S.13–37). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M. & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies – between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11(4), 283–303. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00034-7)
- Duncan, R. G. & Boerwinkel, D. J. (2018). Molecular Biology. In K. Kampourakis & M. Reiss (Hrsg.), *Teaching Biology in Schools: Global Research, Issues, and Trends* (S. 35–47). Routledge.
- Duncan, R. G. & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938–959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Fleige, J., Seegers, A., Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2012). *Förderung von Modellkompetenz im Biologieunterricht*. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 65(1), 19–28.
- Gropengießer, H. (2001). *Didaktische Rekonstruktion des Sehens*. Didaktisches Zentrum, Carl-von-Ossietzky-Universität.
- Hammann, M. (2019). Organisationsebenen biologischer Systeme unterscheiden und vernetzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S.77–92). Springer Spektrum.
- Hammann, M. & Asshoff, R. (2024). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Klett Verlag.
- Hasni, A., Roy, P. & Dumais, N. (2016). The Teaching and Learning of Diffusion and Osmosis: What Can We Learn from Analysis of Classroom Practices? A Case Study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(6), 1507–1531. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1242a>
- Johann, L. (2022). *Facing Educational Challenges in Molecular Life Sciences - A thesis to reconstruct Cell Membrane Biology for Upper Secondary Teaching and Learning* (Doctoral Dissertation) Nord University Bodø. Nord Open Research Archive. <https://nordopen.nord.no/nord-xmlui/handle/11250/3001688>
- Johann, L. (2024). Den flytende mosaikkmodellene. *Naturfag*, 1(24), 53–55.
- Johann, L., Groß, J. & Rusk, F. Static compartmentalisation vs. dynamic molecular interaction – On the significance of student conceptions for upper secondary cell membrane biology education. *NorDina* (im Druck).
- Johann, L., Groß, J., Messig, D. & Rusk, F. (2020). Content-Based and Cognitive-Linguistic Analysis of Cell Membrane Biology: Educational Reconstruction of Scientific Conceptions. *Education Sciences*, 10(6), 151. <https://doi.org/10.3390/educsci10060151>
- Johann, L., Rusk, F. K. H., Reiss, M. J. & Groß, J. (2022). Upper secondary students' thinking pathways in cell membrane biology – an evidence-based development and evaluation of learning activities using the Model of Educational Reconstruction. *Journal of Biological Education*, 58(1), 144–165. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2026805>

- Johnson, C. & Luft, J. A. (2001). Using the Past in the Class: Learning from Historical Models of Cell Membranes. *The Science Teacher*, 68(7), 56–60.
- Kampen, K. (2011). Membrane Proteins: The Key Players of a Cancer Cell. *The Journal of membrane biology*, 242, 69–74. <https://doi.org/10.1007/s00232-011-9381-7>
- Kattmann, U. (1993). Das Lernen von Namen, Begriffen und Konzepten – Grundlagen biologischer Terminologie am Beispiel Zellenlehre. *Verband zur Förderung des Mint- Unterrichts*, 46(5), 275–285.
- Kattmann, U. (2016). *Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Aulis Verlag.
- Knippels, M.-C. & Waarlo, A. (2018). Development, Uptake, and Wider Applicability of the Yo-yo Strategy in Biology Education Research: A Reappraisal. *Education Sciences*, 8(3), 129. <https://doi.org/10.3390/educsci8030129>
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81–92). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_8
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: language, learning, and values*. Ablex.
- Lombard, J. (2014). Once upon a time the cell membranes: 175 years of cell boundary research. *Biol. Direct*, 9(32). <https://doi.org/10.1186/s13062-014-0032-7>
- Meyer, J. H. F. & Land, R. (2005). Threshold concepts and troublesome knowledge (2): Epistemological considerations and a conceptual framework for teaching and learning. *Higher Education*, 49(3), 373–388. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6779-5>
- Riemeier, T. (2005). Schülervorstellungen von Zellen, Teilung und Wachstum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 41–55. <https://doi.org/10.25656/01:31588>
- Riemeier, T. & Gropengießer, H. (2008). On the Roots of Difficulties in Learning about Cell Division: Process-Based Analysis of Students' Conceptual Development in Teaching Experiments. *International Journal of Science Education*, 30(7), 923–939. <https://doi.org/10.1080/09500690701294716>
- Rincke, K. & Leisen, J. (2020). Sprache im Physikunterricht. *Physikdidaktik | Grundlagen*.
- Rundgren, C.-J. & Tibell, L. (2010). Critical Features of Visualizations of Transport through the Cell Membrane - an Empirical Study of Upper Secondary and Tertiary Students' Meaning-Making of a Still Image and an Animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 223–246. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9171-1>
- Sällman Almén, M., Nordström, K. J. & Schiöth, H. B. (2009). Mapping the human membrane proteome: a majority of the human membrane proteins can be classified according to function and evolutionary origin. *BMC Biol*, 7(50). <https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-50>
- Schneeweiß, N. & Gropengießer, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Education Sciences*, 9(3), 207. <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Shulman, L. S. (1987). “Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform”. *Harvard Educational Review*, 57, 1–22. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Steffe, L. & D'Ambrosio, B. (1996). Using Teaching Experiments to Enhance Understanding of Students' Mathematics. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Hrsg.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (S. 65–76). Teacher College Press.
- Trendel, G. & Lübeck, M. (2018). Die Entwicklung experimenteller Kompetenzen. SINUS. NRW: Verständnis fördern – Lernprozesse gestalten, 117–149. <https://doi.org/10.25656/01:16580>
- Venville, G. J. & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional science*, 24(4), 295–320. <https://doi.org/10.1007/BF00118053>
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J. & Boersma, K. T. (2008). Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543–568. <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>
- Watson, H. (2015). Biological membranes. *Essays In Biochemistry*, 59, 43–69. <http://essays.biochemistry.org/content/ppebio/59/43.full.pdf>. <https://doi.org/10.1042/bse0590043>
- Zabel, J. & Gropengießer, H. (2011). Learning progress in evolution theory: Climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45(3), 143–149. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.586714>

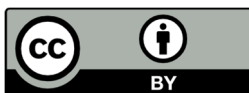
Kontakt

Leonie Johann
Nord Universität
Fakultät für Lehrerbildung, Kunst-und Kultur, Abteilung für Lehrerbildung
Universitätsalleen 11
8026 Bodø, Norwegen
leonie.johann@nord.no

Zitationshinweis:

Johann, L. I. & Tyrrell, S. (2024). Organisationsebenen verknüpfen, um Zellmembranen erfahrbar zu machen: Ein Vorschlag für schülerzentrierte Schwellenkonzepte und Lernumgebung für die Oberstufe. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) – Biologie Lehren und Lernen*, 29, 18-38. doi: 10.11576/zdb-7426

Veröffentlicht: 27.01.2025

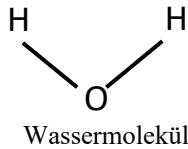


Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International zugänglich (CC BY 4.0 de). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (zum Beispiel Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es gegebenenfalls erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. URL <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

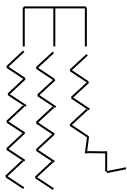
Anhang

Anhang 1: Hydrophil, Hydrophob, Löslichkeit – Mögliches Ergebnis.

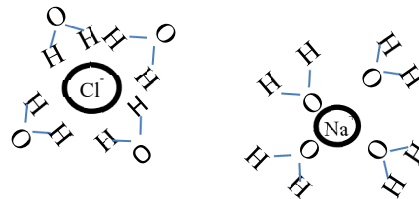
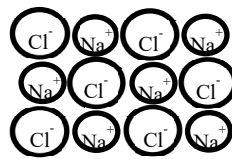
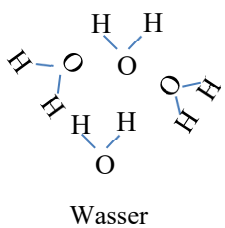
Löslichkeit hängt von der Polarität eines Stoffes ab



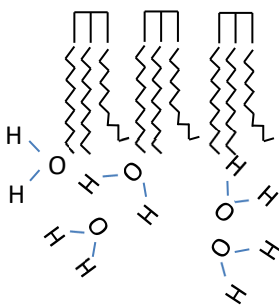
- Sauerstoff hat eine hohe Elektronegativität (EN = 3,44).
- Wasserstoff hat eine geringere Elektronegativität (EN = 2,2).
- Aufgrund der Differenz halten sich die Elektronen der Bindung eher beim Sauerstoff auf als beim Wasserstoff.
- Die Wasserstoffmoleküle sind daher insgesamt eher positiv geladen, der Sauerstoff eher negativ (Dipol). Wasser ist ein polarer Stoff.



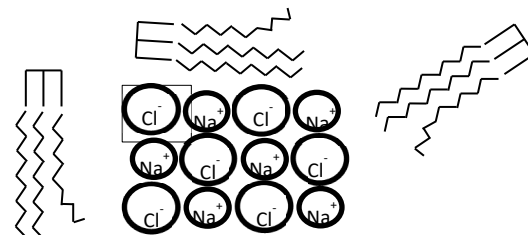
- Öl besteht hauptsächlich aus Kohlen-Wasserstoffen.
- Kohlenstoff hat eine EN von 2,55, Wasserstoff hat eine EN von 2,2.
- Da der Unterschied sehr gering ist, sind die Bindungen im Öl nicht polarisiert. Öl ist ein unpolarer Stoff.



- Salz besteht aus Ionen. Ionen sind geladen.
- Die Pole von Wasser und die Ionen können aufgrund ihrer Ladung miteinander interagieren. Im Wasser werden Salz-ionen mit einem Mantel aus Wassermolekülen umgeben (Hydrathülle) und aus dem Kristall gelöst: Das Salz löst sich im Wasser.



- Öl und Wasser mischen sich nicht.
- Wassermoleküle binden untereinander über Wasserstoffbrücken, Öl-moleküle bleiben aufgrund der hydrophoben Wechselwirkung zusammen.



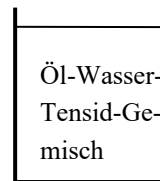
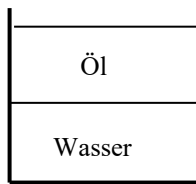
- Öl kann kein Salz lösen.
- Da Öl unpolar ist, kann es nicht mit den geladenen Ionen des Salzes interagieren.

Polare Stoffe lösen polare Stoffe, unpolare Stoffe lösen unpolare Stoffe.

→ Gleiches löst Gleiches!

Anhang 2: Amphiphile Moleküle – mögliches Ergebnis

Amphiphile Moleküle haben einen polaren und einen unpolaren Teil



- Öl und Wasser mischen sich nicht, da Öl unpolar ist und Wasser polar.
- Ölmoleküle bleiben aufgrund der hydrophoben Wechselwirkung zusammen, Wassermoleküle bilden untereinander Wasserstoffbrücken.

- Gibt man Tenside hinzu, lassen sich Öl und Wasser (zumindest teilweise) mischen.



Nicht-ionisches Tensid

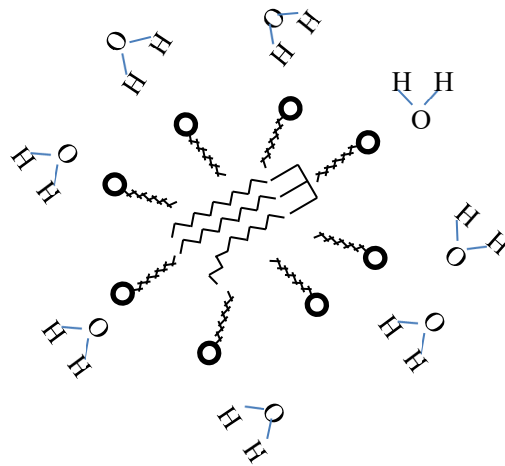
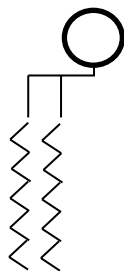


anionisches Tensid



kationisches Tensid

- Tenside bestehen aus einem polaren Teil und einem unpolaren Teil.
- Der polare Teil eines Tensids kann sich in polaren Flüssigkeiten lösen, der unpolare zeitgleich in unpolaren Flüssigkeiten.
- Solche Moleküle heißen amphiphil.



- Phospholipide sind in Organismen gebildet, amphiphile Moleküle.
- Sie bestehen aus einem Phosphat (polar, daher hydrophil), Glycerin und zwei Fettsäuren (unpolar, daher hydrophob).
- Sie bilden einen wesentlichen Bestandteil von Membranen indem sie ihre Struktur bilden.

- Wegen dieser Eigenschaft können Tenside dafür sorgen, dass Öl sich in Wasser lösen kann.
- Ölmoleküle werden von dem unpolaren Teil des Tensids umgeben, so dass die polaren Köpfe nach außen zeigen.
- Die polare Köpfe bilden eine Hülle um den unpolaren inneren Teil und können so in Wasser gelöst werden.

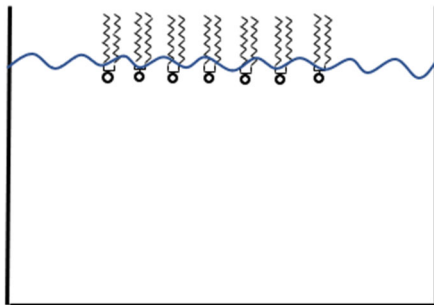
Mögliche Impulse zur Reflexion:

Die Schüler:innen bitten, Alltagserfahrungen mit Tensiden (zum Beispiel Spülmittel) zu artikulieren.

Anhang 3: Unterrichtsergebnisse mit Legemodell

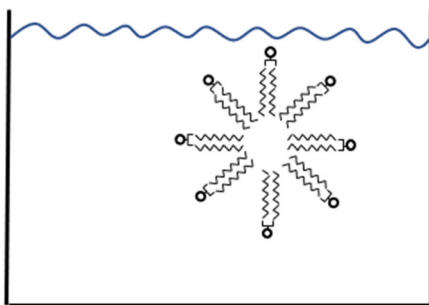
Musterlösungen zur Arbeit mit dem Legemodell

Hier dargestellt sind nicht immer zehn Phospholipide. Davon unbenommen bleibt die prinzipielle Arbeit mit dem Legemodell. Auf den beiden Umseiten finden sich Kopiervorlagen, die an die Schüler:innen direkt ausgehändigt werden können.



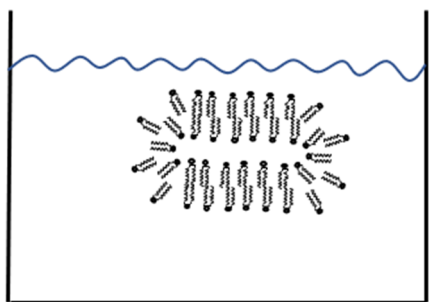
Monolayer auf der Wasseroberfläche

- Polare Köpfe tauchen in das Wasser.
- Unpolare Fettsäuren ragen aus dem Wasser heraus.



Kugeln ohne wässrige Hohlräume im Wasser: Micellen

- Polare Fette sortieren sich automatisch als kugelförmige Gebilde in wässriger Umgebung.
- Sie nehmen entweder die Form einer einschichtigen kugelförmigen Micelle ein, in welcher der Kern aus unpolaren Fettsäuren besteht.
- Polare Köpfe in Richtung des Wassers gewandt.
- Unpolare Fettsäuren ragen in das Innere und begegnen sich dort.



Kugeln mit wässrigen Hohlräumen im Wasser: Liposom

- Zwei Schichten polarer Lipide legen sich aneinander:
 - Polare Köpfe in Richtung des umgebenden Wassers gewandt.
 - Unpolare Fettsäuren ragen in die unpolaren Fettsäuren der zweiten Schicht.
 - die polaren Köpfe der zweiten Schicht ragen ins wässrige Innere.
- Biomembranen sind Liposome, im Wesentlichen bestehend aus einem Bilayer (=Doppelschicht) aus Phospholipiden.

Mögliche Impulse zur Reflexion:

Zur Beobachtung auf dem Makrolevel kann eine Micelle durch das Vermischen mit Pflanzenöl nachgestellt werden. Dadurch, dass Pflanzenöl unpolar ist, löst sich die kugelartige Struktur schnell wieder auf und legt sich als Monolayer an die Wasseroberfläche.

Die Schüler:innen dazu anregen, Nachforschungen anzustellen, wie Liposome in Verbindung mit Impfstoffen (als Transporter für wasserlösliche Impfstoffe) in der Medizin Verwendung finden können.

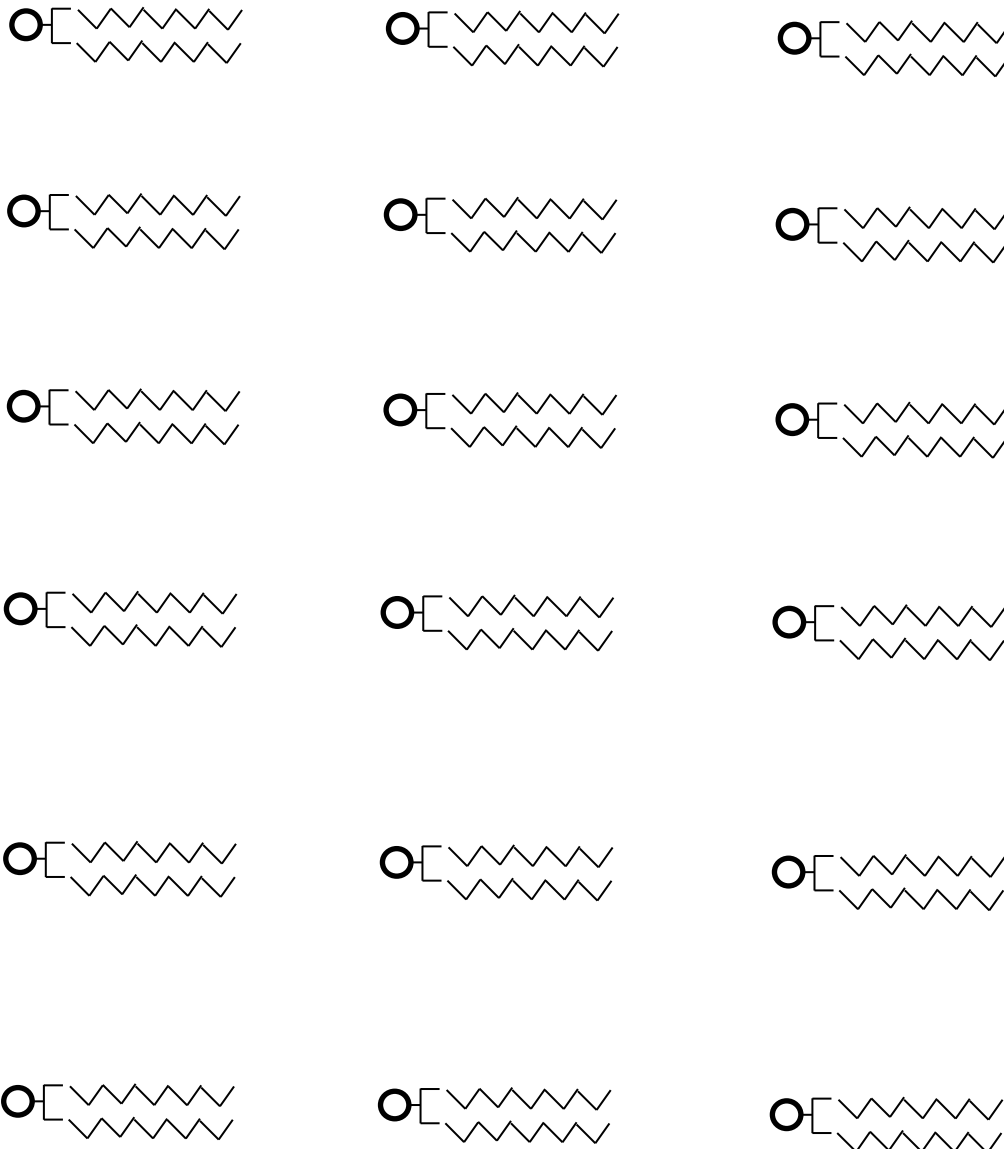
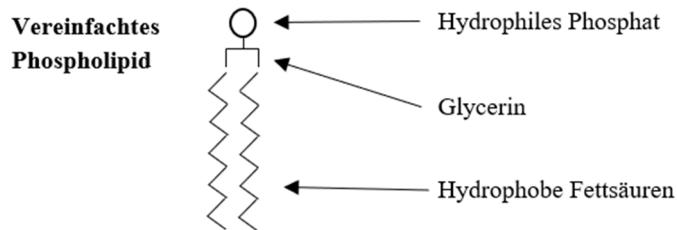
Warum bestehen Zellmembranen aus zwei- und nicht einer Schicht aus Phospholipiden?

Anhang 3: Arbeitsblatt Legemodell

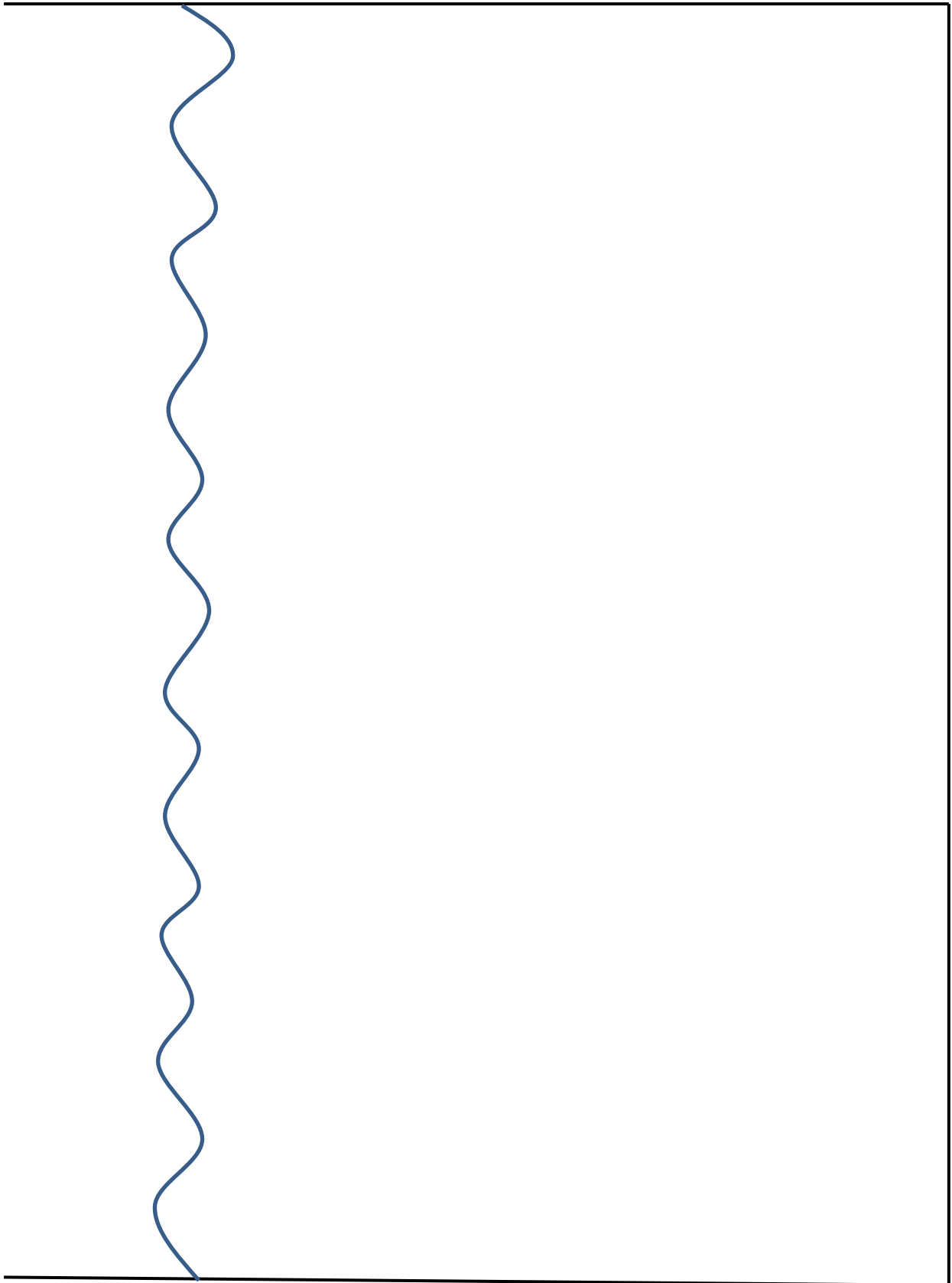
Legemodell zum Verhalten von Phospholipiden in wässriger Lösung

Unten findest du die Materialien für ein Legemodell. Dort sind einige (vereinfachte) Phospholipide dargestellt, die du ausschneiden kannst.

1. Ordne die Moleküle so in der Skizze des Wassertanks an, dass die hydrophoben Fettsäuren nicht mit dem Wasser in Kontakt kommen und die hydrophilen Phosphate am Kopf mit dem Wasser in Kontakt stehen. Achtung: Es gibt drei mögliche Lösungen.



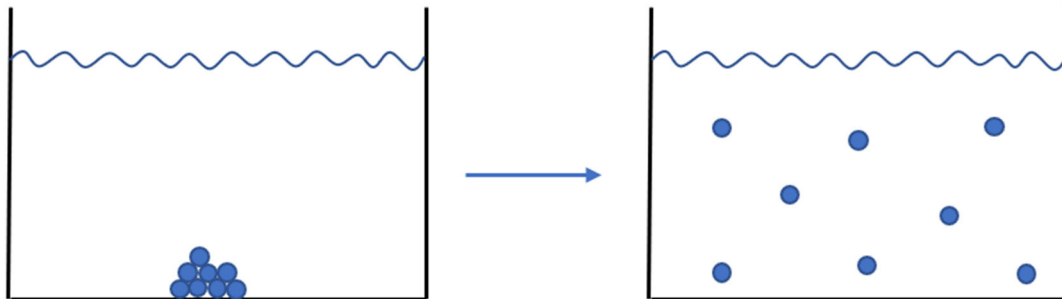
Anhang 3: Mögliche Unterrichtsergebnisse mit Legemodell



Anhang 4: Mögliche Ergebnisse zur Diffusion.

Diffusion ist die selbstständige Ausbreitung von Stoffen entlang eines Konzentrationsgradienten

Wenn sich ein Stoff in Flüssigkeiten oder Gasen löst, breitet er sich ohne äußere Anwendung von Energie aus. Dies liegt an der **zufälligen**, nicht gerichteten Eigenbewegung von Teilchen in Lösungen (Brown'sche Molekularbewegung).



- Diffusion beschreibt die gleichmäßige Verteilung aller Teilchen eines gelösten Stoffes in einer Lösung.
- Nur wenn sich ein Stoff löst, kann er auch diffundieren.
- Teilchen bewegen sich immer in einer Lösung oder einem Gas. Wenn der Stoff gleich verteilt ist, bewegen sich die Teilchen weiter, aber es findet keine beobachtbare Nettobewegung mehr statt.

- Diffusion kann schneller oder langsamer ablaufen. Sie ist schneller, wenn...
 - ...die Temperatur höher ist.
 - ...der Konzentrationsunterschied höher ist.
 - ...die Moleküle kleiner sind.

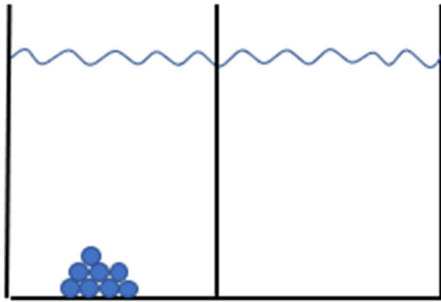
Mögliche Impulse zur Reflexion:

Die Lehrkraft kann die Schüler:innen bitten, Alltagserfahrungen wie die Verteilung von Parfüm in einem Zimmer, oder aber die Verteilung von Saft in Wasser anhand der molekularen Ebene zu artikulieren.

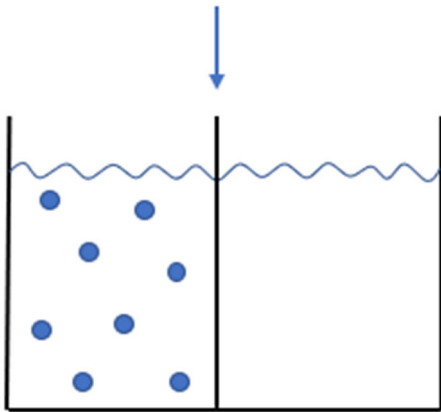
Anhang 4: Mögliche Ergebnisse zur Diffusion und Osmose

Osmose ist die selbstständige Bewegung von Wasser über eine Membran

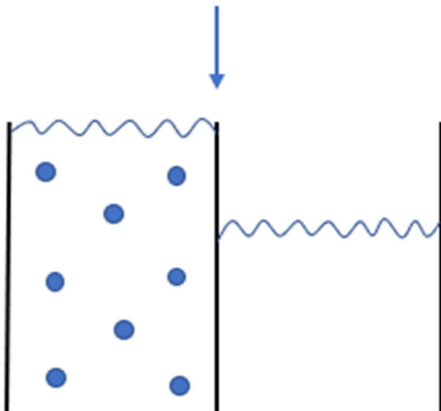
Diffusion kann durch Barrieren behindert werden. Solche Barrieren lassen eventuell nur bestimmte Stoffe durch. In einem solchen Fall bewegen sich die Stoffe, die die Barriere durchqueren können. Handelt es sich um Wasser, das über eine Zellmembran strömt, spricht man von Osmose.



- Ein Behälter mit Wasser ist durch eine Membran getrennt.
- Die Membran lässt kein Salz hindurch aber Wassermoleküle.
- Auf der einen Seite wird Salz hinzugegeben.



- Das Salz löst sich und diffundiert, bis es sich gleichmäßig auf der einen Seite des Behälters verteilt hat.
- Es kann die Membran nicht überqueren, daher bleibt es auf einer Seite des Behälters.



- Auf der linken Seite herrscht wegen der gelösten Salzionen eine geringere Wasserkonzentration als auf der rechten. Die Konzentration von Wasser ist also links niedriger als rechts.
- Wasser beginnt in Richtung seines Konzentrationsgradienten zu strömen und bewegt sich in die linke Kammer. Die linke Kammer hat einen höheren Wasserstand als die rechte.
- Dieser Einstrom von Wasser läuft so lange, bis der Konzentrationsunterschied ausgeglichen ist oder der osmotische Druck nicht mehr ausreicht, um gegen die Schwerkraft das Wasser anzuheben.

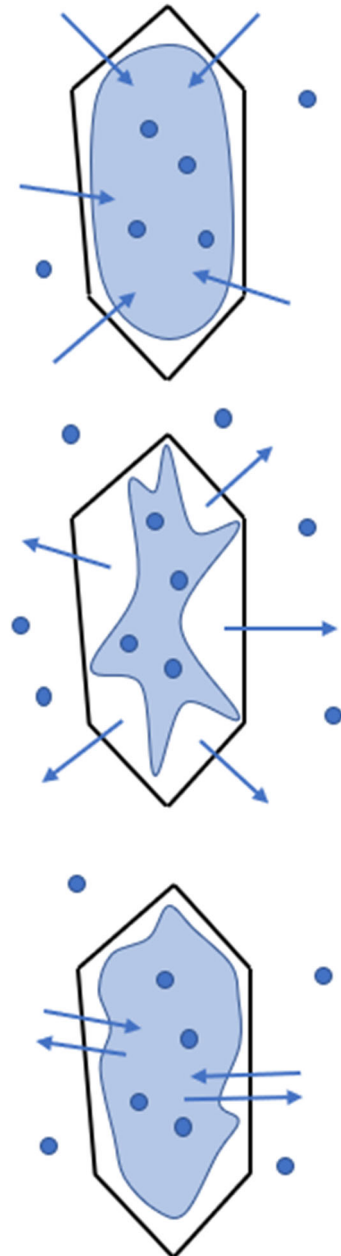
Mögliche Impulse zur Reflexion:

Die Lehrkraft kann die Schüler:innen bitten, das molekulare Level der Osmose mit makrologischen Alltagserfahrungen, wie der pflanzlichen Aufnahme von Wasser über ihre Wurzeln, oder aber das menschliche Trinken von Salzwasser in Verbindung zu bringen.

Anhang 5: Mögliche Ergebnisse zur Plasmolyse

Zellen stehen im Austausch mit ihrer Umgebung, indem sie unter anderem Wasser aufnehmen und wieder abgeben.

Zellen grenzen sich mit Membranen nach außen ab. Nur kleine, unpolare und fettlösliche Moleküle können diese Außenmembran ohne zusätzliche Energie überqueren. Wasser gehört dazu, weil es sehr klein ist und die Membran durch eigene Poren durchqueren kann. Je nach Konzentration von gelösten Stoffen im außerhalb der Zelle und innerhalb der Zelle nimmt eine Zelle Wasser auf oder gibt es ab.



- Gelöste Stoffe im Außenmedium sind geringer konzentriert als in der Zelle (Hypotones Medium). Das heißt, die Wasserkonzentration außen ist höher als in der Zelle:
 - Wasser strömt zum Ausgleich osmotisch in die Zelle.
 - Im Inneren baut sich osmotischer Druck auf, der die Zelle aufbläht, bis sich die Vakuole gegen die Wände drückt. Für Pflanzenzellen ist dies der normale Zustand. Tierische Zellen, wie zum Beispiel rote Blutzellen, würden, da sie keine Zellwand und somit keine feste äußere Begrenzung haben, bersten.
 - => Turgeszenz
- Gelöste Stoffe im Außenmedium höher konzentriert als in der Zelle (Hypertones Medium). Das heißt, die Wasserkonzentration außen ist geringer als in der Zelle:
 - Wasser strömt osmotisch aus der Zelle.
 - Das Plasma und die Vakuole verlieren immer mehr Wasser, lösen sich von der Zellwand und fallen in sich zusammen. Da Tierzellen keine Zellwand haben, gibt es bei ihnen keine Plasmolyse, wohl aber fallen sie in hypertonen Lösungen ebenfalls zusammen.
 - => Plasmolyse
- Gelöste Stoffe im Außenmedium genauso hoch konzentriert wie in der Zelle (Isotones Medium). Das heißt, die Wasserkonzentration außen ist genauso hoch wie in der Zelle:
 - Wasser strömt osmotisch in die Zelle und aus der Zelle. Beide Ströme sind gleich stark.
 - Der Druck im Plasma und der Vakuole gleicht sich dem Außenmedium an, die Zelle fällt aber nicht in sich zusammen. Für tierische Zellen ist dies der Normalzustand.

Mögliche Impulse zur Reflexion:

Die Injektion von Wasser in die Blutbahn eines Menschen löst schwerwiegende, gesundheitliche Probleme aus. Häufig ist ein Herzinfarkt durch von Zelltrümmern verstopfte Blutgefäße. Erkläre dieses Phänomen.

Das Beinahe-Ertrinken in Süßwasser ist extrem gefährlich, da Personen häufig kurz nach ihrer Rettung an einem Herzinfarkt sterben, wenn sie Wasser eingeatmet haben. Im Meer tritt dieses Phänomen nicht auf. Erkläre dieses Phänomen.

Anhang 6: Arbeitsblatt Concept Cartoon: Eiweiße

Concept Cartoon: Eiweiße

Woher kommen Proteine im menschlichen Körper? Haben alle Zellmembranen die gleichen Proteine?

Zellmembranen werden aus Proteinen gebaut, deswegen müssen alle Membranen die gleichen Proteine haben. Und natürlich können sie keine Proteine herstellen, sonst müssten wir ja keine essen.

Sabin



Ich glaube, dass Zellen und ihre Membranen bestimmte Proteine gemeinsam haben, aber sich auch teilweise unterscheiden. Ich glaube aber auch, dass sie keine herstellen können.

Luc



Ich glaube, dass Zellen selbst Proteine herstellen können, Deswegen müssen wir keine Proteine essen. Und Zellmembranen haben verschiedene Aufgaben, also haben Sie auch verschiedene Proteine – logisch.

Max



Ayse

Alle Membranen bestehen aus Proteinen, also müssen auch alle Zellen die gleichen Proteine haben. Zellen müssen so wichtige Stoffe doch selbst herstellen können, wenn Sie die für Ihre Membranen brauchen.

Was glaubst du, wer von den vier Jugendlichen Recht hat? Oder hast du eine ganz andere Meinung? Schreibe deine Meinung auf und begründe sie und diskutiere sie danach mit deinen Mitschüler:innen.

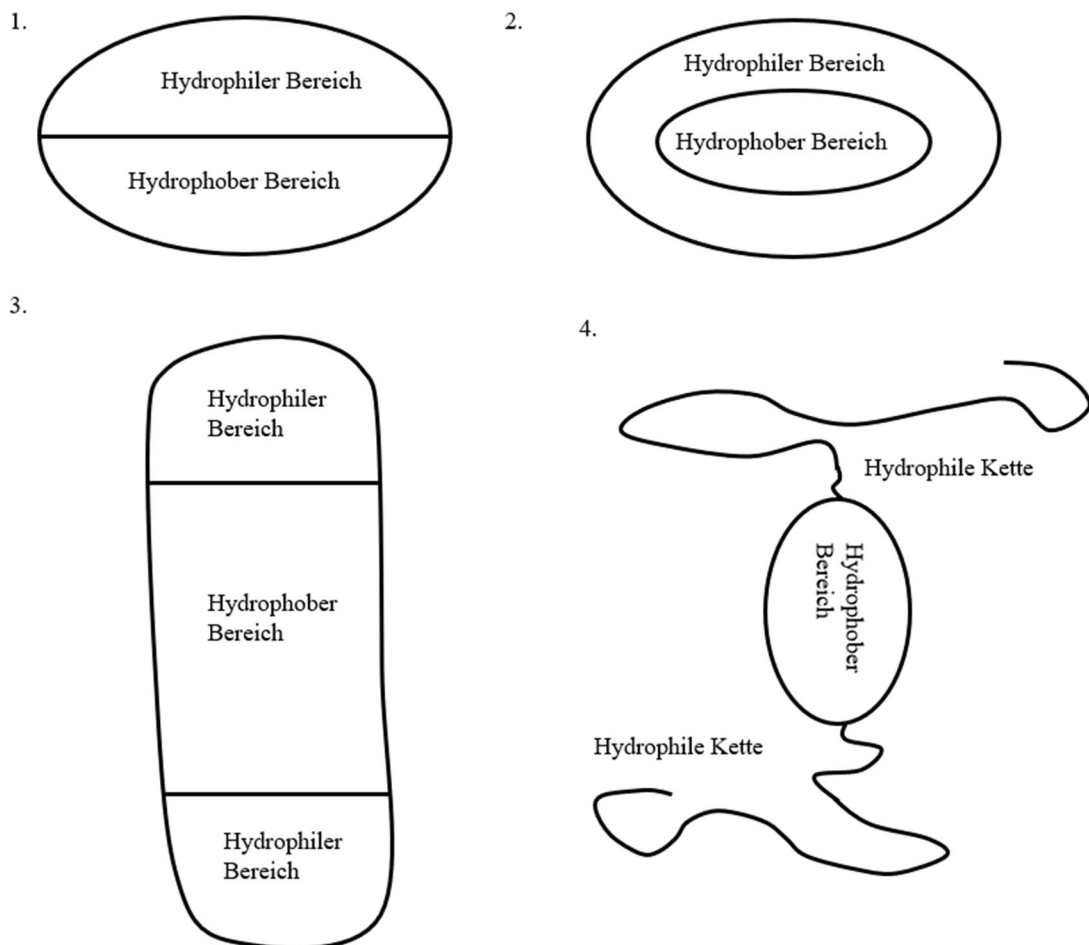
Anhang 7: Arbeitsblatt Legemodell für Membranproteine

Membranen bestehen aus hauptsächlich Phospholipiden und unterschiedlichen Proteinen

Für dieses Modell brauchst du die vereinfachten Phospholipide, mit denen du bereits erarbeitet hast, zu welchen verschiedenen Strukturen diese sich in Wasser zusammenfinden.

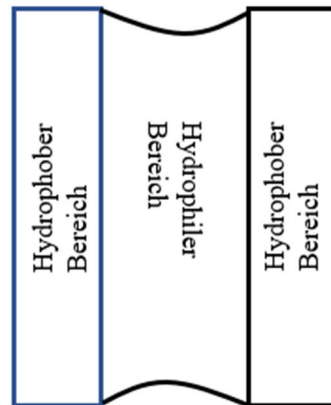
Aufgaben

1. Lege als erstes aus den Phospholipiden eine Doppelschicht auf deinem Tisch. Erkläre, warum Membranen aus Doppel- und nicht Einzelschichten bestehen.
2. Schneide die vereinfachten Proteine auf diesem Blatt aus.
3. Leite aus dem Bau der Proteine ab, ob sich diese in die Membran integrieren lassen. Baue alle Proteine in die Membran ein, von denen du glaubst, dass sie Teil einer Membran sind. Achtung: Nicht alle Proteine auf dieser Seite sind auch wirklich Proteine, die in eine Membran gehören (Warum nicht?).
4. Ordne jedem Protein eine Funktion und einen Namen von der zweiten Seite zu. Achtung: Auch hier brauchst du nicht alle Namen und nicht alle Funktionen.
5. Erläutere am Beispiel von einer Covid-19-Erkrankung, warum sich die Membranproteinzusammensetzung verschiedener Zelltypen unterscheiden muss.

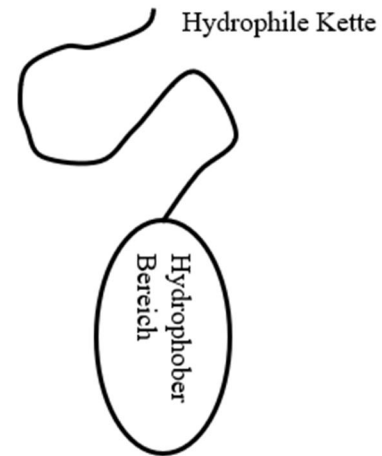


Anhang 7: Legemodell für Membranproteine

5.



6.



Proteingruppe

Transmembranprotein	Ein Protein, das ein Stück weit in die Membran reicht und durch hydrophobe Wechselwirkung verankert ist. An solche Proteine wird oft das Zytoskelett aufgehängt. Auf der Außenseite der Zelle dienen diese Proteine zum Beispiel als Erkennungsmarker.
Proteinhelix	Ein fassartig gebautes Protein, das durch die Membran reicht und durch hydrophobe Wechselwirkung an Ort und Stelle bleibt. Im Inneren gibt es einen hydrophilen Kanal, durch den zum Beispiel Wasser in die Zelle strömen kann.
Glykoprotein	Ein hydrophobes Protein, das in der Membran liegt und an dem eine lange Kette aus Zucker angelagert ist, die in das Außenmedium ragt. Dient oft als Erkennungsmarker.
Eingelagertes Protein	Ein Protein, das quer durch die Membran reicht und in das Zellinnere und -äußere ragt. Solche Proteine können zum Beispiel als Andockpunkt für Hormone dienen und so Signale vom Äußeren ins Innere leiten.
Kanalprotein	Ein Protein, das sich gut in Wasser löst und durch die Blutbahn im Körper verteilt werden kann. Dient häufig als Signal im Körper.
Proteohormon	Ein Protein, das in der Membran liegt und aus dem lange Proteinketten nach außen und innen ragen. Diese Proteine übernehmen sehr viele Funktionen.
Rezeptorprotein	

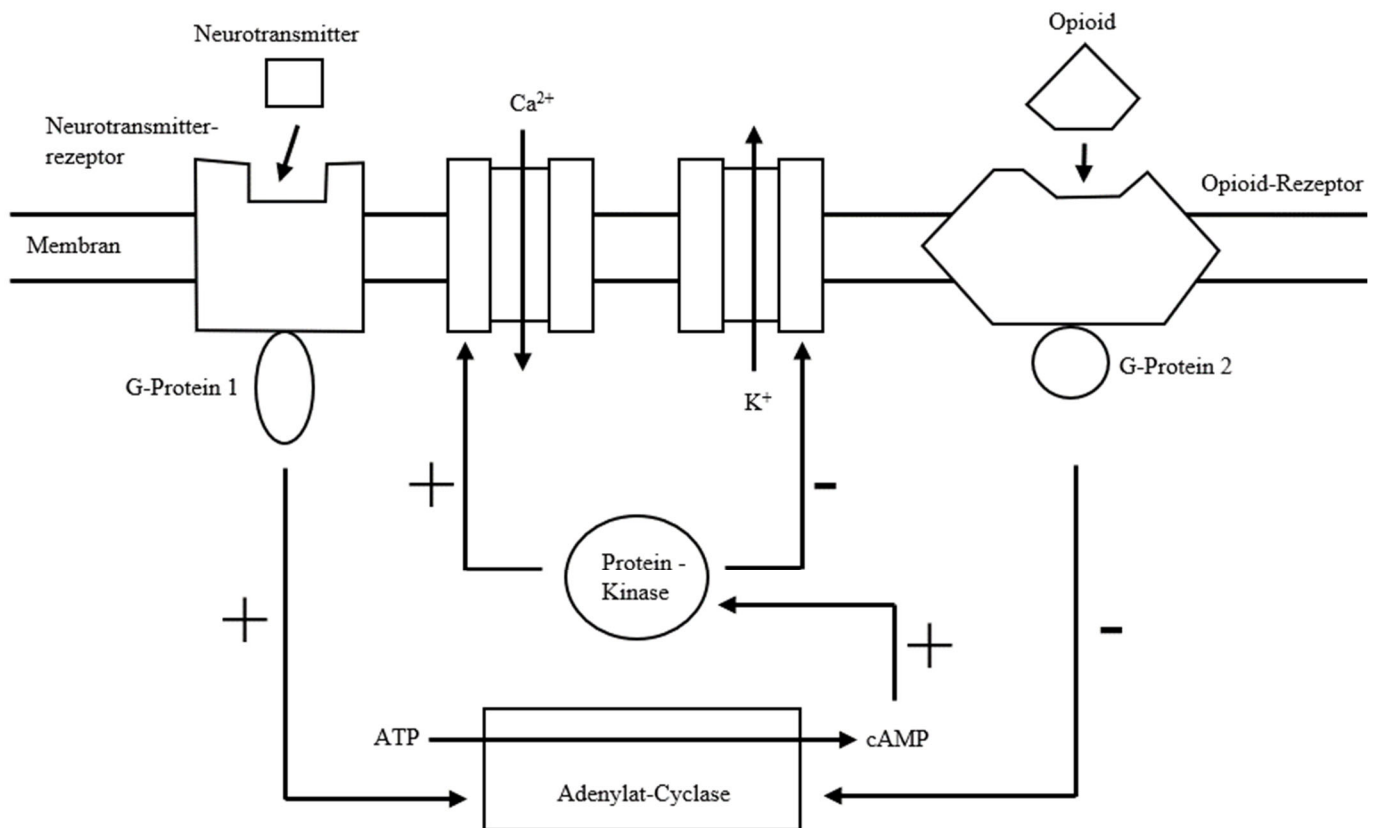
Anhang 8: Arbeitsblatt zum Effekt der Gewöhnung an Opioid

Gewöhnungseffekte bei kontinuierlichem Opioidkonsum

Opioid sind eine Klasse körpereigener, aber auch natürlich in Pflanzen vorkommender (zum Beispiel Morphin), und synthetisch hergestellter Moleküle (zum Beispiel Heroin), die eine wichtige Rolle bei der Schmerztilgung, oder/und auch als Entspannungsdroge spielen. So können sie Patienten beispielsweise bei schweren Erkrankungen Schmerzlinderung verschaffen (Heroin wurde ursprünglich als Schmerzmittel verabreicht), sind aber gleichzeitig stark abhängigkeitsmachend. Es ist bekannt, dass Patienten nach gewisser Zeit eine immer höhere Dosis brauchen, um den gleichen, schmerzstillenden Effekt wie zu Beginn der Behandlung zu erzielen. Gleichzeitig werden Patienten auch schmerzempfindlicher.

Material 1: Die molekulare Grundlage für Schmerzlinderung durch Opioid im menschlichen Körper

Bei Menschen wird Schmerz von den sogenannten Nozizeptoren wahrgenommen. Diese registrieren Schmerzsignale und leiten diese ins Gehirn weiter, wo dann die eigentliche Schmerzempfindung entsteht. Opioid können an Rezeptoren an der postsynaptischen Membran der Nozizeptoren andocken. Das Schema unten verdeutlicht diesen Prozess.



Anhang 8: Arbeitsblatt zum Effekt der Gewöhnung an Opioide

Material 2: Auswirkungen langfristigen Opioidkonsums

Bei Menschen, die lange Zeit Opioide konsumieren, kann man hauptsächlich drei Veränderungen in den Nozizeptoren feststellen:

1. Opioidrezeptoren auf der Zellmembran werden von der Zelle in das Innere verlagert.
2. Die Zellen stellen vermehrt das Enzym Adenylatzyklase her.
3. Die Zellen produzieren mehr Neurotransmitter.

Aufgaben

1. Beschreibe die postsynaptische Membran von Nozizeptoren.
2. Erkläre wie die Gabe von Opioiden in die Weitergaben von Nervensignalen eingreift.
3. Erläutere wie die drei Auswirkungen von langfristigem Opioidkonsum zu erklären sind.
4. Formuliere aufbauend auf deinem Wissen über Opioide eine Hypothese, wie „alltägliche“ Genussmittel wie Koffein oder Nikotin bei kontinuierlichem Konsum auf den Körper wirken.