

Dagmar Friedrichs und Isabel Edeler

Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht

Eine Unterrichtsreihe zur Entwicklung des Biomembran-Modells im historischen Erkenntnisweg

Der Kernlehrplan Biologie für die gymnasiale Oberstufe in Nordrhein-Westfalen (2014) macht den Erwerb von Kompetenzen zur biologischen Erkenntnisgewinnung zum Ziel des Unterrichts und führt damit einen wichtigen Bereich der Kompetenzentwicklung in der Sekundarstufe I fort. Ein grundlegender Aspekt der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften ist die Entwicklung von belastbaren Modellen, mit denen Sachverhalte erklärt und Ereignisse vorhergesagt werden können. Damit sich diesbezügliche Kompetenzen entwickeln können, muss der Umgang mit Modellen explizit thematisiert werden.

Mit der vorgestellten Unterrichtsreihe können Schülerinnen und Schüler weitgehend selbstständig den Weg der Erkenntnis über den Aufbau und die Funktion der Biomembran nachvollziehen. Indem sie das Wechselspiel zwischen Modellen und ihrer Überprüfung verfolgen, können sie die Vorläufigkeit biologischer Modelle und ihre Grenzen begreifen und erklären. Auf diese Weise sollen neben dem Umgang mit Fachwissen vor allem Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung sowie ein systematisches und bewusstes konzeptuelles Verständnis des hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegs gezielt gefordert und gefördert werden. Feedback zu Lernergebnissen erfolgt über einen Selbstevaluationsbogen zur Diagnose und Überprüfung der angestrebten Kompetenzen.

1. Projektbeschreibung und Zielsetzung

Motivation für das Projekt

Die Kernlehrpläne für die Sekundarstufe II an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen stellen den Kompetenzerwerb in den Naturwissenschaften in Form der vier Kompetenzbereiche *Umgang mit Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* dar. Der Bereich Erkenntnisgewinnung umfasst grundlegende naturwissenschaftliche Methodenkompetenz, wie z.B. das Experimentieren oder die Anwendung bzw. Reflexion von Modellen. Nun hat man schon immer im Biologieunterricht experimentiert oder Modelle verwendet, daher gilt es, sich die Neuerungen im Rahmen der Erkenntnisgewinnung zu verdeutlichen. Kompetenzen sind kein Lernstoff, sie beschreiben vielmehr das Wissen und Können von Schülerinnen und Schülern. Ziel muss deshalb sein, dass die Lernenden fachliche Methoden anwenden können, um selbstständig biologische Erkenntnisse zu gewinnen. Dafür reicht es nicht, lediglich Ergebnisse von abgeschlossenen Erkenntnisprozessen zur Kenntnis zu nehmen. Es muss explizit

vier Kompetenzbereiche

für jeden inhaltlichen Schwerpunkt überlegt werden, wie Unterrichtssituationen den Schülerinnen und Schülern eine selbstständige Erkenntnis ermöglichen. Nur Experimente nach Vorgaben durchzuführen bzw. nur etablierte Modelle zu analysieren, würde diesen Anspruch verfehlen.

Ländervergleich

In welchem Umfang *Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung* in den Naturwissenschaften auf der Grundlage der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss bei den Schülerinnen und Schülern erreicht werden, wurde im Jahre 2012 durch den sogenannten Ländervergleich des Instituts für Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) erhoben. Betrachtet man die Ergebnisse der Studie (Pant et al., 2013), lassen sich für Nordrhein-Westfalen optimierbare Ausgangslagen bei der Erkenntnisgewinnung bei Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 9 vor Eintritt in die Sekundarstufe II feststellen:

Befundmuster

Für das Fach Biologie ergibt sich in Nordrhein-Westfalen folgendes Befundmuster (siehe Tabelle 1): Fast 11 % der zielgleich unterrichteten Neuntklässlerinnen und Neuntklässler, die mindestens einen mittleren Schulabschluss anstreben, verfehlen im Fach Biologie im Bereich *Erkenntnisgewinnung* den Mindeststandard der Kultusministerkonferenz (KMK) für den mittleren Schulabschluss. Den KMK-Regelstandard erreichen oder übertreffen (Kompetenzstufe III oder höher) fast 53 % der Schülerinnen und Schüler. Herausragende Leistungen auf der höchsten Kompetenzstufe (Optimalstandard) erreichen knapp 1 % der Neuntklässlerinnen und Neuntklässler Nordrhein-Westfalens, die mindestens einen mittleren Schulabschluss anstreben.

Regelstandard

Die Leistungen der Schülerinnen und Schüler an Gymnasien unterscheiden sich deutlich von denen an anderen Schulformen, die zum MSA führen (siehe Tabelle 1). Besonders auf der Kompetenzstufe IV, einem gehobenen Regelstandard, werden die Unterschiede gravierend: Es erreichen am Gymnasium 25,3 % der Lernenden diese Stufe, an sonstigen Schulen mit MSA-Abschluss hingegen nur 2,4 %. Aber auch am Gymnasium erreichen lediglich 1,3 % die Stufe V, also den Optimalstandard. Der gymnasiale Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Naturwissenschaften (Chemie 19,3 % und Physik 17,1 %) macht deutlich, dass im Fach Biologie Handlungsbedarf besteht.

Tabelle 1: Kompetenzstufenverteilung der Erkenntnisgewinnung im Fach Biologie in Nordrhein-Westfalen bei Schülerinnen und Schülern der 9. Jahrgangsstufe, die mindestens den mittleren Schulabschluss anstreben, nach Kompetenzbereich (prozentuale Angaben) (Pant et al., 2013).

	Kompetenzstufen				
	I	II	III	IV	V
Gymnasium	1,2	17,8	54,4	25,3	1,3
Sonstige MSA	17,8	50,9	28,8	2,4	0,0
Gesamt MSA	10,7	36,7	39,8	12,3	0,6

Anmerkungen: MSA= Mittlerer Schulabschluss; Kompetenzstufen: II = Mindeststandard, III = Regelstandard, IV = Regelstandard plus; V = Optimalstandard

Entsprechend gegensteuernde Maßnahmen sollten also bereits von Anfang an im Biologieunterricht der Sekundarstufe I ansetzen. Anregungen dazu finden sich in einer anderen SINUS-Publikation (Dirks, Engelen & Lübeck, 2015). Wie Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe II ihre Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung weiterentwickeln und fundieren können, ist Gegenstand dieses Beitrags.

Wir haben uns mit unserem *fachlichen Schwerpunkt* explizit ein Unterrichtsthema der Einführungsphase ausgesucht, um den durch unsere Unterrichtsreihe erlangten Kompetenzerwerb als Grundlage für die später folgende abiturrelevante Qualifikationsphase zu legen und dort den Kompetenzerwerb dann zu vertiefen. So haben wir für das Inhaltsfeld 1 *Biologie der Zelle* im Rahmen des Kontexts *Erforschung der Biomembran* eine Unterrichtsreihe konzipiert, die den Herausforderungen des kompetenzorientierten Lehrplans gerecht werden soll. Im Unterschied zu einer mehr oder weniger rein inhaltlichen Behandlung der Biomembranmodelle im Unterricht liegt hier der Fokus auf dem wissenschaftlichen Erkenntnisweg bei der Entwicklung der Modelle.

Um einen möglichst selbstständigen Kompetenzerwerb durch die Schülerinnen und Schüler zu ermöglichen, sind jedoch nicht nur Veränderungen der Vorgehensweise in den Erarbeitungsphasen erforderlich, sondern auch die Schaffung von Selbstevaluationsphasen als gezieltem Diagnoseinstrument für die Schülerinnen und Schüler selbst. Betrachtet man herkömmliche Unterrichtsverläufe, so werden die Prozesse der Leistungsbeobachtung und -bewertung vornehmlich durch Fremdeinschätzung der Lehrkraft vorgenommen. Jedoch sind durch die Fremdeinschätzung der Stand und mögliche Probleme der Kompetenzentwicklung nur schwer vollständig zu erfassen und für die Schülerinnen und Schüler selbst kaum bewusst wahrnehmbar. Eine Ergänzung in Form der Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler ist unserer Meinung nach erforderlich, um zu einer vollständigeren Einsicht in den individuellen Lernstand zu gelangen. Die normbezogenen Verfahren, wie Klassenarbeiten und Tests, dienen in erster Linie der Lehrkraft zur Benotung des Leistungsstands, sie ermöglichen es den Lernenden jedoch nicht immer, eine fundierte Selbsteinschätzung ihrer Kenntnisse vorzunehmen. Daraus resultiert zum einen, dass den Schülerinnen und Schülern bislang die Transparenz über die jeweils zu erreichenden Leistungsanforderungen und ein Abgleich mit den erreichten Kompetenzen fehlt, und zum anderen, dass der Selbsteinschätzung eine bedeutende Rolle im Prozess der Leistungsrückmeldung zukommt. Im Rahmen eines angestrebten selbstständigen kompetenzorientierten Lernens ist es folglich unerlässlich, dass Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Lernzuwächse überprüfen und reflektieren können. Die Selbstevaluation der Lernprozesse und ihrer Ergebnisse ist damit für uns ein unverzichtbarer Bestandteil der Lernkompetenzentwicklung und sollte im Unterricht fest etabliert werden.

Einführungsphase

Selbstevaluationsphasen

Zielsetzung: Entwicklung des Verständnisses biologischer Denk- und Arbeitsweisen (Nature of Science)

Mit der vorliegenden Unterrichtsreihe visieren wir eine Förderung und Vertiefung der Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung, speziell der Modellbildung, an. Bisherige Ansätze, die auch in Schulbüchern vorherrschend sind, haben zwar einen sachlich informierenden Charakter, bieten jedoch – ohne enormen Aufwand durch die Lehrperson – wenig Spielraum für einen sukzessiven Kompetenzerwerb und einen nachhaltigen Wissensaufbau im Bereich der Erkenntnisgewinnung.

Wir bieten hier eine Unterrichtsreihe an, die genau dieser Diskrepanz entgegenwirken soll und somit eine umfassende Berücksichtigung folgender Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans ermöglicht:

Kompetenzerwartungen

- Konkretisierte Kompetenzerwartung im Inhaltsfeld *Biologie der Zelle*: Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.
- Übergeordnete Kompetenzerwartung (Erkenntnisgewinnung): Die Schülerinnen und Schüler können ...
 - Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage biologischer Vorgänge begründet auswählen und deren Grenzen und Gültigkeitsbereiche angeben (E6).
 - an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben (E7).

Im Sinne des übergreifenden Bildungsziels einer vertieften biologisch-naturwissenschaftlichen Bildung (KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 17f.; Bovet & Huwendiek, 2011, S. 24–27) – Scientific Literacy – sind hier das Verständnis und der Umgang mit Modellen im Erkenntnisprozess von zentraler Bedeutung, denn „alle Erkenntnis ist Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle“ (Zitat nach Stochowiak (1973), in Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 24).

„Modellkompetenz umfasst die Fähigkeiten, mit Modellen zweckbezogen Erkenntnisse gewinnen zu können und über Modelle mit Bezug auf ihren Zweck urteilen zu können, die Fähigkeiten, über den Prozess der Erkenntnisgewinnung durch Modelle und Modellierungen in der Biologie zu reflektieren sowie die Bereitschaft, diese Fähigkeiten in problemhaltigen Situationen anzuwenden.“
(Upmeier zu Belzen & Krüger, 2010, S. 49)

Modellkompetenz

Für die Förderung dieser Modellkompetenz bietet sich die Erforschung der Biomembran in besonderem Maße an, weil im historischen Entwicklungsprozess Modelle für die Erkenntnisgewinnung genutzt wurden und aufgrund technischer Fortschritte bestehende Modelle verworfen werden mussten. Indem die Erforschung schrittweise nachvollzogen wird, kann ein sukzessiver und nachhaltiger Aufbau der Modellkompetenz erreicht werden, die den Schwerpunkt des Unterrichtsvorhabens darstellt.

Dadurch ist die Wahl des historisch-genetischen Ansatzes begründet. Dieses Vorgehen bietet darüber hinaus einen besonderen Kontext, in dem über die realen Situationen mit authentischen Problemen eine erhöhte Relevanz für die Schülerinnen und Schüler (vgl. KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 12f.) und eine damit verbundene erhöhte Motivationsgrundlage zu erwarten sind. Außerdem wird der Einsatz historischer Ansätze in der fachdidaktischen Diskussion vermehrt gefordert, weil die wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen in Verbindung mit fachlichen Inhalten in besonderem Maße reflektiert werden können (vgl. Upmeier zu Belzen, 2013, S. 328). Gerade diese Kompetenzen sind für die aktive Teilhabe an einer wissenschaftlich geprägten Gesellschaft von hoher Relevanz (vgl. KLP Sek. II Biologie, MSW, 2014, S. 11) und werden in diesem Zusammenhang von den Bildungszielen der naturwissenschaftlichen Lehrpläne explizit gefordert. Von zentraler Bedeutung ist hierbei ein hoher Grad an Selbstständigkeit bei der Erarbeitung, um ein Fundament für nachhaltige Lernprozesse anzulegen (vgl. Bovet & Huwendiek, 2011, S. 246, 307f.).

authentische Probleme

Modelle

Im Forschungsprozess werden zunächst hypothetische Modelle zur Erklärung beobachteter realer Phänomene entwickelt, die Voraussagen über weitere beobachtbare oder messbare Details dieser Phänomene erlauben. Stimmen diese Voraussagen mit den tatsächlich gewonnenen experimentellen Daten oder wei-

teren Beobachtungen überein, so können das Modell und seine zugrunde liegenden Hypothesen bestätigt werden. Im Falle einer Nichtübereinstimmung muss das Modell verändert bzw. verworfen werden (vgl. Abbildung 1). Bestätigte Modelle werden kritisch auf mögliche Grenzen überprüft. Ggf. werden weiterführende Fragestellungen abgeleitet und Hypothesen aufgestellt.

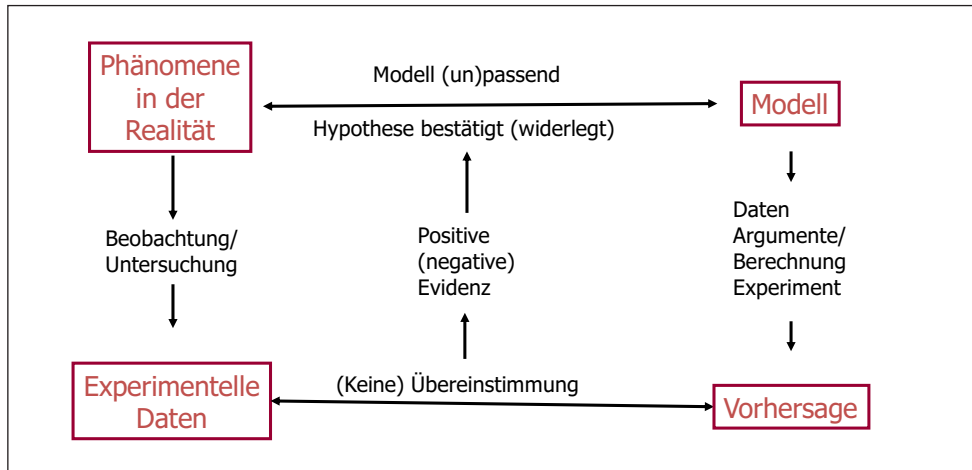


Abbildung 1: Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen (in Anlehnung an: Giere, Bickle & Mauldin (2006), S. 29)

Dieser Prozess wird im Unterrichtsvorhaben exemplarisch am Erkenntnisweg zum Aufbau der Biomembran nachvollzogen:

1925	Gorter und Grendel	Erforschung der Anordnung der Lipidmoleküle (zuvor nachgewiesen) in der Biomembran: <ul style="list-style-type: none"> – Biomembran als Lipiddoppelschicht aus Phospholipiden und geringerer Mengen an Sterolen und Glykolipiden, die später entdeckt wurden – Aufgrund der elektrostatischen Wechselwirkungen sind die hydrophilen Köpfe zum wässrigen Milieu und die hydrophoben Fettsäureschwänze zueinander angeordnet. – Barrierefunktion – Offene Frage: Wie können Ionen und größere polare Moleküle durch die Biomembran gelangen?
1935	Davson und Danielli	Protein-Sandwich-Modell: <ul style="list-style-type: none"> – Proteine, die in der Biomembran nachgewiesen worden waren, sind außen an die Lipidschicht angelagert. – Annahme: Proteine besitzen nur hydrophile Seitenreste. – Offene Frage weiterhin: Wie können Ionen und größere polare Moleküle durch die Biomembran gelangen?
1972	Singer und Nicolson	Nachweis von Proteinen mit hydrophoben Seitenresten führt zur Entwicklung des Flüssig-Mosaik-Modells: <ul style="list-style-type: none"> – Frage zum Transport von Ionen und größeren Molekülen kann nun beantwortet werden (siehe unten). – Mit Ergänzungen ist es das noch immer gültige Membranmodell.

Der Transport von Ionen und großen polaren Molekülen durch die Membran sowie die meisten anderen Membranfunktionen werden durch Proteine ermöglicht, die in die Lipidschicht eingelagert sind (sogenannte integrale Membranproteine wie Transmembranproteine, monolayer-verknüpfte oder lipidgebundene Proteine) oder mit anderen Membranproteinen assoziiert sind (sogenannte periphere Membranproteine). Die integralen Membranproteine weisen folglich hydrophobe Seitenreste auf, periphere hingegen nicht. Sie fungieren als

Membranfunktionen

Transportproteine, Enzyme, Rezeptoren oder Ankerproteine, was später gezeigt werden konnte. Die Zusammensetzung und Art der Proteine variiert stark je nach Zell- oder Organellfunktion, wodurch die lebenswichtige Arbeitsteilung und Zellspezialisierung zustande kommen kann. Die Proteine sind in bestimmten Bereichen in der fluiden Lipidschicht frei beweglich, wodurch der Name des Membranmodells erklärt ist. Diese Hypothese konnte durch Experimente von Frye und Edidin in den 1970er Jahren mit Fluoreszenzmarkern bestätigt werden. Die Zusammensetzung der Lipidlayer ist asymmetrisch bezüglich der Arten der Phospholipidmoleküle (z. B. Phosphatidylcholin oder Sphingomyelin; Kurzkettige oder Langkettige; Ungesättigte oder Gesättigte), was ebenfalls später nachgewiesen werden konnte. Die Plasmamembran eukaryotischer Zellen weist zudem auf der extrazellulären Seite eine Glycocalyx auf. Sie setzt sich aus verschiedensten Saccharidketten, die entweder kovalent an Lipide oder Proteine gebunden sind, zusammen. Die Plasmamembran schützt die Zelle und spielt eine entscheidende Rolle bei der Zell-Zell-Erkennung. „Ohne die Biomembran gäbe es keine Zellen und somit kein Leben“ (Alberts et al., 2005, S. 387), da alle physiologischen Prozesse indirekt oder direkt mit Strukturen der Biomembran in Verbindung stehen und die Biomembran als die Begrenzung der Zelle eine Schutz- und Barrierefunktion ausübt (vgl. ebd., S. 387–409).

Zielsetzung: Bewusstmachen der eigenen Kompetenzentwicklung

Selbstevaluationsbogen

Als Diagnoseinstrument setzen wir einen Selbstevaluationsbogen ein, den die Schülerinnen und Schüler sowohl am Anfang als auch am Ende der Unterrichtssequenz erhalten und bearbeiten. Diese Selbstevaluation erfolgt über Aussagen zur Selbsteinschätzung, die der Reflexion der eigenen Stärken und Kompetenzen sowie des Arbeitsverhaltens dienen. Zur Einschätzung werden verschiedene Antwortoptionen vorgegeben. Diese relativ einfache Reflexionsform kann adaptiert in jedem beliebigen Unterricht, auch fachübergreifend, eingesetzt werden. Um den Schülerinnen und Schülern ihre persönlichen Lernerfolge zu verdeutlichen und ein erhöhtes Verantwortungsbewusstsein zu generieren, sind die Kompetenzen in „Ich-kann-Sätzen“ formuliert. Neben dem motivierenden Lernerlebnis, welches durch die Verwendung dieser Formulierung entsteht, werden die Kompetenzbeschreibungen schülergerecht umformuliert. Im Gegensatz zu den im Kernlehrplan formulierten Kompetenzen sind diese sogenannten „Ich-Kompetenzen“ oft auf konkrete, kleine Lernschritte reduziert und umfassen in einigen Fällen auch nur einen Teilbereich einer curricularen Kompetenz.

Lernerlebnis

Besonders wichtig ist der Hinweis an die Schülerinnen und Schüler, dass das Ausfüllen des Bogens bewertungsfrei bleibt. Dadurch kann garantiert werden, dass sie ohne äußeren Bewertungsdruck ihre persönliche Lernprogression durch ehrliche Antworten nachvollziehen können. Folglich favorisieren wir es, dass der Bogen wiederholend nach jeder Einheit ausgefüllt wird, um den sukzessiven Lernerfolg für die Schülerinnen und Schüler zu visualisieren. Dies erhöht auch die Motivation, sich vertiefend mit Themen auseinanderzusetzen. Die kritische Selbstreflexion des eigenen Könnens ist eine Grundlage erfolgreichen und anschlussfähigen Lernens. Sie wird so geschult und kann fächerübergreifend genutzt werden.

Lernerfolg

2. Dokumentation des Reihenkonzepts und exemplarischer Materialien

In der vorgestellten Reihenplanung zur Entwicklung des Biomembran-Modells im historischen Erkenntnisweg sind sieben Stunden ausgearbeitet, die in Doppel- bzw. Einzelstunden zu thematischen Einheiten gruppiert werden.

Die Unterrichtsreihe wurde bislang in sechs verschiedenen Lerngruppen an unterschiedlichen Schulen und Standorten von vier Kolleginnen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erfahrungen wurden in der aktuellen Version der Materialien berücksichtigt. Die Reihenplanung und alle zugehörigen Materialien können auf den SINUS-Seiten des Projekts heruntergeladen werden.¹

Überblick über die Unterrichtsreihe

Zu Beginn der Unterrichtsreihe wird den Schülerinnen und Schülern der Selbstevaluationsbogen ausgeteilt. Auf diese Weise wird Transparenz geschaffen, nicht nur hinsichtlich des individuellen Lernstands, sondern auch der Inhalte und der zu erreichenden Kompetenzen (Abbildung 3).

In der ersten Unterrichtseinheit werden der Aufbau und die Funktion der Biomembran behandelt und grundlegendes Wissen um Modellarbeit vermittelt. In der nächsten Unterrichtseinheit, die idealerweise als Doppelstunde gehalten werden sollte, erarbeiten die Schülerinnen und Schüler den historischen Weg der Entwicklung des Biomembran-Modells. Die Erarbeitung erfolgt hierbei anhand von Karten, die jeweils Informationen zu einem Modell der historischen Entwicklung enthalten. Die nächste Einheit ist eine optionale Reflexions- und Rekapitulationsstunde, die die Festigung der neu erworbenen Kompetenzen in den verschiedenen Kompetenzbereichen zum Ziel hat. In der abschließenden Einheit werden die Transportvorgänge an der Biomembran in Form einer eigenständigen Modellentwicklung thematisiert. Eine mögliche weitere Reihenstunde, die hier nicht aufgeführt wird, kann der Evaluation der Reihe, möglichen Vertiefungen und der Klärung offener Fragen vor einer etwaigen Lernüberprüfung dienen.

In der Übersicht (Abbildung 2) ist der geplante Weg zum sukzessiven Kompetenzerwerb in der Unterrichtsreihe dargestellt. Sowohl im Bereich des Fachwissens als auch im Bereich des Umgangs mit Modellen (Erkenntnisgewinnung) werden die Fähigkeiten und Fertigkeiten von Stunde zu Stunde kumulativ vertieft und erweitert.

Unterrichtseinheiten

¹ www.sinus.nrw.de

Modelle und die Biomembran sukzessiver Kompetenzerwerb	
Unterrichtseinheit	Thema/Unterrichtsvorhaben grob skizziert
1./2. Stunde	Was sind Modelle? – Wissen über Modelle und Anwendung an einem Text zu Aufbau und Funktion der Biomembran; Einführung Selbstevaluation Theoretische Modelle vs. Modelle zur Anschauung
3./4. Stunde	Forschung nachvollziehen! – Die Erforschung der Biomembran und die Rolle der Modelle im wissenschaftlichen Erkenntnisweg Modelle als Hypothese und Darstellung der Erkenntnis
5. Stunde	Modelle überdenken! – Bewertung selbst angefertigter Modelle zur Biomembran und Vertiefung der Funktion von Modellen in der Biologie Anfertigung eines Modells zu bekanntem Thema: Rekapitulation der Funktion von Modellen im Erkenntnisweg; Modellkritik
6./7. Stunde	Modell angewandt! – Anfertigung und Evaluation eigener Modelle zum Membrantransport; Auswertung Selbstevaluation Anfertigung eines Modells zu einem neuen Thema, Modellkritik

Abbildung 2: Überblick über die Unterrichtsreihe: Modelle und die Biomembran

Vorwissen Als *Vorwissen* zu dieser Reihe wird Folgendes vorausgesetzt:

- Makromoleküle: Lipide, Kohlenhydrate, Proteine
- Kompartimentierung
(abgegrenzte Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen wie z. B. Mitochondrien)
- Grundlagen zum wissenschaftlichen hypothetisch-deduktiven Erkenntnisweg
(Phänomen → Fragestellung → Hypothesenbildung → Durchführung des Experiments/der Beobachtung → Auswertung und Interpretation → Schlussfolgerung mit Rückbezug auf Hypothesen)
- Bedeutung von Funktions- und Strukturmodellen
- Methoden: Kurzvorträge

Die Unterrichtsreihe im Detail mit exemplarischen Materialien

In diesem Kapitel werden die einzelnen Stunden im Detail vorgestellt und Erläuterungen zur Durchführung gegeben. Allgemein gelten folgende Abkürzungen:

EA = Einzelarbeit; PA = Partnerarbeit; GA = Gruppenarbeit; SV = Schüler-vortrag; TPS = Think (EA) – Pair (PA) – Share (Plenum), PP = Präsentationsprogramm, AB = Arbeitsblatt, exemplarische Materialien

Reihenstunde 1 und 2: Aufbau und Funktion der Biomembran

Phase Sozialform Medium	Inhalt
<i>Einstieg</i> Plenum evtl. PP mit Bildern	„Alle Zellen werden von einer Membran umhüllt, die das Innere der Zelle von der Umgebung trennt. In lebenden Zellen werden sie als Biomembran bezeichnet.“ Sammlung im Plenum (TPS): „Welche Funktionen muss eine solche Biomembran erfüllen?“
Überleitung Plenum	„Wie sind die Funktionen der Biomembran möglich?“ Aufbau → Zusammensetzung Zelle (siehe Bild PP), Bild beschreiben lassen; „Membranbestandteile sind geklärt, aber wie sind sie angeordnet? Das ist unser Thema.“
<i>Erarbeitung I</i> EA AB	Erklärung Selbstevaluationsbogen: Vorher-Nachher und Überblick über Reiheneinhalt
<i>Erarbeitung II</i> EA/PA AB Membranen	„Erarbeiten Sie mithilfe der Materialien den Aufbau und die Funktion einer Biomembran.“ „Bereiten Sie hierzu einen Kurzvortrag vor (siehe Aufgabenstellung AB).“
<i>Erarbeitung III</i> EA/PA AB Modelle	Grundlagen zur Modellarbeit (siehe Aufgabenstellung AB)
<i>Sicherung I</i> SV evtl. PP und Notizen	Vorträge der Schülerinnen und Schüler Ausführliche Lösungsvorschläge: siehe Online-Materialien
<i>Sicherung II</i> Plenum	Besprechung des AB Grundlagen zur Modellarbeit

Geförderte Kompetenzen:

- E7: Die Schülerinnen und Schüler können an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben.

Erläuterungen / Hinweise:

- Dies ist eine Doppelstunde. Eine Einzelstunde wäre bis zu den Vorträgen sinnvoll. Die Vorträge können bzw. ein Vortrag kann in der nächsten Stunde als Einstieg dienen.



Biologie Einführungsphase		Aufbau und Funktion einer Biomembran			Selbsteinschätzung
Die Biomembran und ihre Modellentwicklung				Name:	
Selbständige Lernerfolgsüberprüfung					
Ich kann....	Stimmt	Stimmt überwiegend	Stimmt teilweise	Stimmt nicht	Unterrichts- material
 den Aufbau und die Funktion der Biomembran beschreiben.					AB 1
 die Merkmale von „theoretischen Modellen“ und „Modellen zur Anschauung“ erklären.					AB 2
 die Aufgaben von Modellen erklären.					AB 2 AB 3
 die unterschiedlichen Transportvorgänge durch die Biomembran erklären.					AB 5
 erklären, wie die Modelle zum Aufbau der Biomembran in der Forschung eingesetzt wurden.					AB 3 Karten
 den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau der Biomembran durch den technischen Fortschritt erklären.					AB 3 Karten
 die Veränderlichkeit der Modelle zur Biomembran anhand der technischen Entwicklung aufzeigen.					AB 3 Karten
 die Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich meines Modells erkennen und benennen.					AB 4
 die Modelle anderer bewerten.					AB 4
<p>Legende:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  = Umgang mit Fachwissen </div> <div style="text-align: center;">  = Erkenntnisgewinn </div> </div>					

Abbildung 3: Selbstevaluationsbogen

Reihenstunde 3 und 4: Erkenntnisgewinnung zur Biomembran mithilfe verschiedener Modelle

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Die Erkenntnisse, die man heute über die Biomembran hat, konnten erst im Laufe der Zeit anhand vieler wissenschaftlicher Untersuchungen gewonnen werden.“ <i>Sammlung: „Welche Schwierigkeiten gab es auf dem Weg der Forschung? Stellen Sie Hypothesen auf!“</i> [Zellen zu klein, um sie zu sehen; technische Möglichkeiten nicht vorhanden; kein Geld] „Da die Biomembranen nicht mit allen Details sichtbar gemacht werden konnten, erstellten die Forscher Modelle. Daher entwickelten sich im Lauf dieses Erkenntnisgewinnungsprozesses verschiedene Modelle zur Biomembran. Den wissenschaftlichen Weg der Erkenntnisgewinnung werden wir heute untersuchen und nachvollziehen.“
<i>Erarbeitung I</i> GA AB und Karten AB Erkenntnisgewinnung <i>Erarbeitung II</i>	AB Modellvorstellungen zur Biomembran (=Aufgabenstellung), Karten, Raster Erkenntnisgewinnung „Erklären Sie, warum es hier unangemessen ist, von richtigen oder falschen Modellen zu sprechen“
<i>Sicherung I</i> Plenum PP Evtl. Modelle auf DIN A4-Blättern und Magnete für die Tafel	Präsentation und Besprechung der Arbeitsergebnisse <i>Ausführliche Lösungsvorschläge: siehe Online-Materialien</i>
<i>Sicherung II</i>	Modelle entwickeln sich im Laufe der Zeit durch Wissenszuwachs und technischen Fortschritt weiter und verändern sich.
Hausaufgabe	„Stellen Sie mit Materialien Ihrer Wahl jedes Modell nach und fotografieren Sie es. Bitte senden Sie mir die Fotos per E-Mail zu (auch in Kleingruppen möglich).“

Geförderte Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.
- E6: Die Schülerinnen und Schüler können Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Vorhersage biologischer Vorgänge begründet auswählen und deren Grenzen und Gültigkeitsbereiche angeben.
- E7: Die Schülerinnen und Schüler können an ausgewählten Beispielen die Bedeutung, aber auch die Vorläufigkeit biologischer Modelle und Theorien beschreiben.

Erläuterungen / Hinweise:

- Zur Differenzierung und Strukturierung der Erarbeitungsphase werden die Arbeitsaufträge auch mit Hilfestellungen angeboten (siehe ausführlichen Verlaufsplan in der Online-Fassung).
- Zur Sicherung der Stunde hat es sich bewährt, die einzelnen Modelle auf DIN-A4-Papier auszudrucken und von Schülerinnen und Schülern an der

Tafel ordnen und erläutern zu lassen. Die jeweiligen Forscher und deren Experimente bzw. Methoden können hier ergänzt werden. Die Lehrperson kann an dieser Stelle auch die konkreten Jahreszahlen der jeweiligen Modelle einführen, sodass sich eine Tabelle an der Tafel ergibt (siehe Lösung im Unterrichtsverlauf der Online-Version).

- Gruppengröße: drei bis vier Schülerinnen und Schüler
- Pro Gruppe nur einen Satz Karten verteilen, damit die Interaktion der Schülerinnen und Schüler gefördert wird.
- Für die Hausaufgaben (siehe Verlaufsplan) kann die Lehrperson Materialvorschläge geben. Es bieten sich an: Knete, Papier, Stifte, Geldmünzen o.ä. Es sollte der Hinweis gegeben werden, dass die Fotos auf einem Stick mitgebracht oder per E-Mail zugesendet werden (so kann die Lehrperson bereits vor dem Unterricht eine Auswahl für die Präsentation der Schülerergebnisse treffen).
- Eine mögliche App zur Erstellung animierter Bildsequenzen für das Android-System und für iPhone ist z. B. Stop-Motion Studio.

Biologie Einführungsphase	Modellvorstellungen zur Biomembran	Karten
Verschiedene Modellvorstellungen zur Biomembran		
<p>Auf jeder der Karten, die Sie ausgeteilt bekommen haben, wird ein Modell zur Biomembran vorgestellt. Zusätzlich liefern die Karten Informationen zu den Experimenten der jeweiligen Forscher und deren Vorwissen. Des Weiteren werden teilweise technische Erfindungen bzw. zentrale Verfahren genannt, die zum dem Zeitpunkt der Forschung für die Modellerkenntnis relevant waren.</p> <p>Aufgabe 1: Beschreiben Sie die jeweilige Untersuchung bzw. das Experiment, welches die Forscher zu ihrer Modellvorstellung gebracht hat. Erklären Sie, wie man auf die Modellnamen kam. Füllen Sie bei mindestens zwei Modellen das Raster zur Erkenntnisgewinnung aus. (Das Raster liegt aus.)</p> <p>Aufgabe 2: Überlegen Sie, welche vorhandenen technischen Erfindungen und welches Vorwissen zu den jeweiligen Zeitpunkten den Erkenntnisgewinn vorangebracht haben.</p> <p>Aufgabe 3: Erstellen Sie eine zeitliche Anordnung der Modelle. Erklären Sie, welche Erkenntnisse aus den jeweils vorher erstellten Modellen verworfen bzw. abgeändert wurden.</p> <p>Notieren Sie Ihre Ergebnisse im Heft.</p> <p>Zusatzaufgabe: Überlegen Sie zu dem Goldpartikelverfahren einen möglichen Modellnamen der Biomembran.</p>		

Abbildung 4: Arbeitsaufträge zu den Reihenstunden 3 und 4

Differenzierungsmöglichkeit:

Notieren Sie Ihre Ergebnisse chronologisch im Heft in Form einer Tabelle:

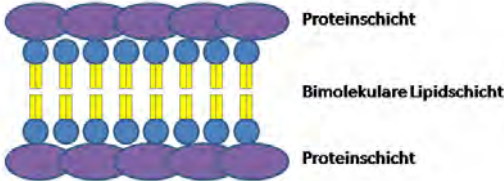
Modellname	Forscher	Untersuchung/ Experiment	Vorwissen/ Erfindungen	Änderungen
<p><i>Danielli</i> und <i>Davson</i> entwickelten ein Modell, nach dem die Membran wie ein Sandwich mit einer Phospholipid-Doppelschicht zwischen zwei Schichten Proteinen aufgebaut ist.</p>  <p>Sie entwickelten ihr Modell, nachdem in den 20er Jahren mit neuen Techniken nachgewiesen worden war, dass wasserlösliche (hydrophile) Proteine in der Biomembran vorkommen. Sie gingen daher der Fragestellung nach, wie die Proteine in der Biomembran angeordnet sind. Sie wussten aus Experimenten, dass die Köpfe der Phospholipide zwar hydrophil sind, aber die Oberfläche einer künstlichen Membran aus einer Phospholipid-Doppelschicht nicht so stark an Wasser haftet, wie eine wirkliche biologische Membran.</p> <p>Diesen Unterschied erklärten sie mit der Annahme, dass die Membran auf beiden Seiten von Proteinen bedeckt ist und somit eine Sandwichstruktur aufweist.</p>				

Abbildung 5: Beispielkarte zu den Reihenstunden 3 und 4

Reihenstunde 5: Reflexion und Rekapitulation (optionale Stunde)

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Sie kennen nun verschiedene Arten von Modellen und haben gesehen, wie sie in der Biologie eingesetzt werden können. Auf der Grundlage Ihres Wissens können Sie nun Modelle bewerten, d. h. Modellkritik üben. Wenn ein Modell erstellt wird, muss man überprüfen, ob es auch das darstellt, was gewünscht ist. Dafür muss man sich bewusst machen, welche Unterschiede zum Original bestehen und inwiefern diese Unterschiede das Dargestellte beeinflussen. <i>Sammlung: „Was könnte man an einem Modell bewerten?“</i>
Überleitung	„Das werden wir an Ihren Modellen (HA) üben.“
<i>Erarbeitung I</i> TPS AB Modellkritik Beamer, Laptop	Schülerinnen und Schüler bewerten einzelne Modelle, die per Beamer gezeigt werden, und ihr eigenes mit AB. „Nun haben Sie Ihre Modelle hauptsächlich als Struktur- bzw. Anschauungsmodelle gebaut. Im wissenschaftlichen Erkenntnisweg gab es noch weitere Funktionen, die Sie letzte Stunde erarbeitet haben. Heute vertiefen wir das Gelernte und wenden unsere Kriterien zur Modellkritik auf die historischen Modelle an.“
<i>Erarbeitung II</i> PA AB Reflexion	Schülerinnen und Schüler bearbeiten AB Reflexion.
<i>Sicherung I</i> PA, Plenum	Unterschiedliche Materialien können die gleiche Struktur darstellen. Die Modelle stellen das dar, was wir gelernt haben: Struktur der Biomembran (Strukturmodelle) und Anschauungsmodelle. Sie unterscheiden sich in Farbe, Größe, Material und ggfs. Form (2D); ggfs. kleben die Materialien aneinander (Kleber, Klettverschluss) oder sind nicht von Wasser umgeben.
<i>Sicherung II</i> Plenum Folie AB Reflexion	Sie eignen sich gut, wenn sie die Struktur angemessen wiedergeben. siehe Lösung AB (Online-Materialien)

Geförderte Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler erstellen und bewerten eigene Modelle zu der Biomembran und erkennen und bewerten ihre Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich des eigenen Modells.
- Die Schülerinnen und Schüler stellen den wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs zum Aufbau von Biomembranen durch technischen Fortschritt an Beispielen dar und zeigen daran die Veränderlichkeit von Modellen auf.

Erläuterungen / Hinweise:

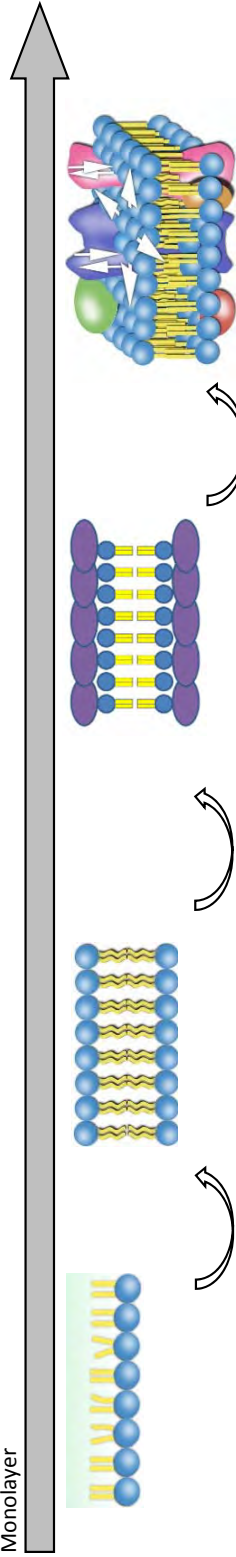
- Diese Stunde ist insofern optional, als dass die Schülerinnen und Schüler Kenntnisse über die historische Modellentwicklung bereits aus der vorherigen Stunde besitzen und in der folgenden Stunde die Modellkritik und die Bewertung von Grenzen und Gültigkeitsbereichen von Modellen anhand von Transportmechanismen der Biomembran ausführen. Trotzdem ist sie eine wertvolle Stunde, in der der Kompetenzaufbau vertiefend gefördert wird, was insbesondere schwächeren Schülerinnen und Schülern zugutekommt.
- Die Stunde vertieft die Kenntnisse über die historische Modellentwicklung und schult kumulativ die Fähigkeiten zur Bewertung von Modellen, sodass die Schülerinnen und Schüler die Grenzen und Gültigkeitsbereiche historischer und eigener Modelle sicher erläutern können. Speziell in Hinblick auf eine Lernerfolgsüberprüfung (Klausur) ist diese Stunde empfehlenswert.

Die Erforschung der Biomembran: Rekapitulation und Reflexion

Historischer Weg der Erkenntnisgewinnung zum Aufbau der Biomembran:

Forscher
& Mo-
delname

1917: Langmuir
Lipideinzelschicht
Monolayer



Erkenntnis/
Modell

- Modell wird erweitert
 - Modell wird revidiert
- Möglich durch:

- Modell wird erweitert
 - Modell wird revidiert
- Möglich durch:

- Modell wird erweitert
 - Modell wird revidiert
- Möglich durch:

Bewertung der Modelle:

Die Modelle zum Aufbau der Biomembran ...

- ⇨ unterscheiden sich von der Realität in folgenden Merkmalen: Form Farbe Größe Funktion Struktur Material
- ⇨ sind: Funktionsmodelle Strukturmodelle Anschauungsmodelle theoretische Modelle
- ⇨ dienen den Forschern als: Fragestellung Untersuchungsgegenstand Hypothesen Darstellung der Erkenntnisse
- ⇨ Das Flüssig-Mosaik-Modell ist DAS Modell zum Aufbau der Biomembran und ist nun immer gültig.
 - stimmt, weil
 - stimmt nicht, weil

Aufgaben:

1. Ergänzen Sie die Forscher und Modellnamen im Zeitstrahl. Begründen Sie, warum hier das Modell von Robertson nicht dargestellt ist und das Goldpartikelverfahren fehlt.
2. Kreuzen Sie Zutreffendes an den Pfeilen an und ergänzen Sie, wodurch die Veränderung möglich wurde.
3. Bewerten Sie die Modelle, indem Sie Zutreffendes ankreuzen (Mehrfachnennungen sind möglich) und in Ihrem Heft begründen.

Abbildung 6: Arbeitsblatt zur Reiheneinheit 5

Reihenstunde 6 und 7: Transportvorgänge durch Biomembranen

Phase Sozialform Medium	Unterrichtsgeschehen
<i>Einstieg</i> Plenum	„Nun haben wir ausführlich den Aufbau der Biomembran besprochen. Heute schauen wir uns eine wichtige Funktion der Biomembran an.“ <i>Wiederholung/Sammlung: Welche Funktionen erfüllt die Biomembran?</i> „Die Kompartimentierung führt zum gezielten Transport bzw. Austausch von Stoffen. Diesen Transport schauen wir uns heute an: Stellen Sie bitte die verschiedenen Transportmechanismen mit Modellen dar.“
<i>Erarbeitung I</i> Plenum Folie 1 und Folie AB Transportmechanismen	„Vergleichen Sie den aktiven und passiven Transport anhand der Abbildung.“ (Schematische Abbildung: die Unterscheidung von aktivem und passivem Transport) Lehrperson notiert die Unterschiede auf der Folie unter der Abb. „Das sind die grundlegenden Unterschiede. Nun gehen wir ins Detail.“ Schülerinnen und Schüler erhalten das AB und können sich ggfs. Notizen machen: Lehrervortrag über die verschiedenen Transportmechanismen anhand der Folie mit TPS-Phasen: Schülerinnen und Schüler nennen jeweils die Nr. in der Abb. und füllen die Tabelle schrittweise aus. Lehrperson notiert jeweils auf Folie.
<i>Erarbeitung II</i> Lehrervortrag TPS	„Sie bauen heute arbeitsteilig die Transportmechanismen in einem Modell nach. Anschließend stellen Sie Ihre Ergebnisse den anderen vor und wir üben Modellkritik. Daher: Vorüberlegungen zur Modellarbeit [Was soll dargestellt werden: Funktion; welche Materialien haben wir?; was muss nicht detailliert dargestellt sein: jede Struktur] Arbeitsteilige Erstellung der Modelle zu aktiven Transportmechanismen: Kleingruppen von 2 bis 3 Schülerinnen und Schüler; Jeden Transportmechanismus mindestens doppelt verteilen: Gruppe 1: kanalvermittelter Transport Gruppe 2: carriervermittelter passiver Transport Gruppe 3: primär aktiver Transport Gruppe 4: sekundär aktiver Transport (Differenzierung: an die stärkeren Schülerinnen und Schüler vergeben)
<i>Erarbeitung III</i> PA Lipiddoppelschicht (Vorlage) Verschiedene Materialien zur Modellbildung; z. B. Moosgummi-Formen	
<i>Sicherung</i> Plenum	Darstellung, Erläuterung der Modelle zu den Transportmechanismen + Modellkritik
<i>Vertiefung I</i> Modelle, ggf. AB Modellkritik, AB Selbstevaluation	Selbstevaluation ausfüllen und kurz besprechen Vergleich der Transportmechanismen hinsichtlich der Kriterien
<i>Vertiefung II</i> (optional oder HA)	Richtung, Spezifität und Energiebedarf 1. Diffusion 2. erleichterte Diffusion 3. aktiver Transport

Geförderte Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Transportvorgänge durch Membranen für verschiedene Stoffe mithilfe geeigneter Modelle und geben die Grenzen dieser Modelle an.
- In Anlehnung an E6 (Modelle): Die Schülerinnen und Schüler können ein eigenes Modell zu einem Transportmechanismus der Biomembran erstellen und die Grenzen bzw. den Gültigkeitsbereich des eigenen Modells erkennen und benennen.

Erläuterungen / Hinweise:

- Falls Stunde 5 entfällt, muss hier ergänzend zum Unterrichtsverlauf die Hausaufgabe von Stunde 4 (Fotos der eigenen Modellnachbauten) zu Beginn der Stunde aufgegriffen werden (Ideen s. Verlaufsplan zur Stunde 5).
- Der Schwerpunkt der Einheit liegt, auch zeitlich, auf der schülereigenen Erstellung, Präsentation und Evaluation der Modelle zu den verschiedenen Transportmechanismen. Hilfreich ist bei der Präsentation der Einsatz einer Dokumentenkamera.

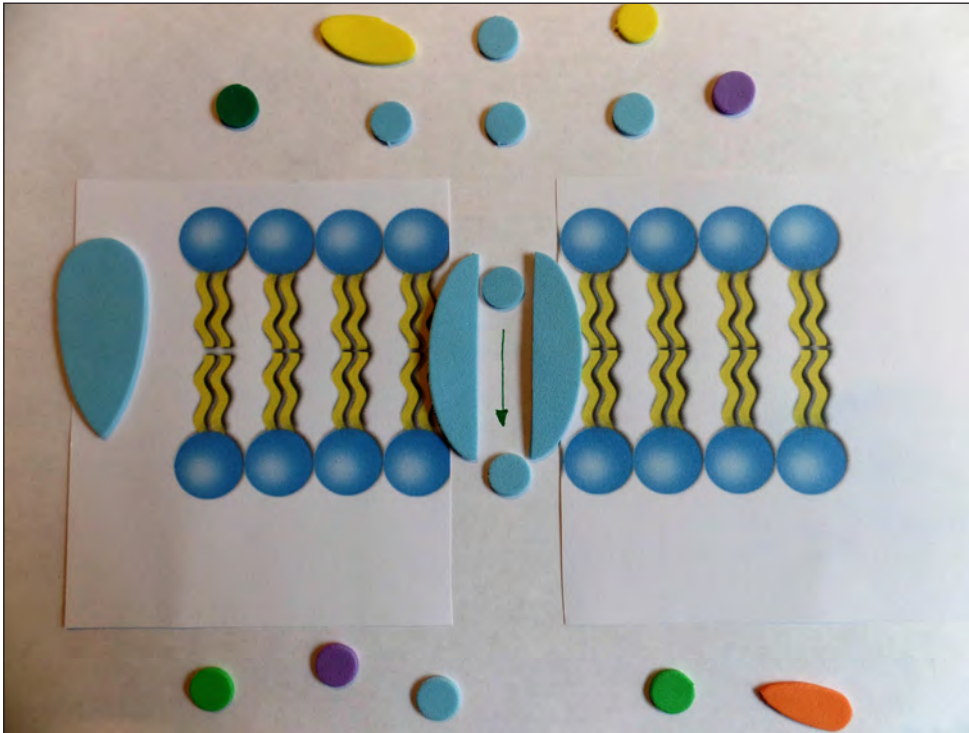
Schülerergebnis zur Reihensunde 6 und 7:

Abbildung 7: Schülerergebnis zur Reihensunde 7 – Modellbau zum carriervermittelten Transport

3. Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Perspektiven

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die erstellte Unterrichtsreihe die Erarbeitung der Thematik *Biomembran und Förderung der Kompetenzen zum Umgang mit Modellen* effektiv ermöglicht und eine vollständige Grundlage für eine Klausur darstellt, wobei die einzelnen Unterrichtseinheiten auch losgelöst von der dargestellten Reihe in eine individuelle Planung integriert werden können. Die Differenzierungsmaterialien sowie die flexible Handhabung der Materialien ermöglichen die Übertragung auf beliebige Lerngruppen. Die Schülerinnen und Schüler berichten über eine nachhaltige Aneignung von Fähigkeiten zur Modellarbeit, die von den Lehrpersonen in den anschließenden Unterrichtsvorhaben (auch Q1) bestätigt werden konnten.

Perspektivisch können die gewonnenen Modellkompetenzen als Grundlage für weitere Modellarbeit in der Sekundarstufe II dienen, exemplarisch sei hierbei der Aufbau der DNA genannt. Des Weiteren kann die grundlegende Konzeption der sukzessiven Modellarbeit Vorlage für andere Unterrichtsreihen zum

Kompetenzerwerb der Erkenntnisgewinnung sein. Auch der Selbstevaluationsbogen kann auf andere Unterrichtssequenzen übertragen werden.

Literatur

- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A. Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2005). *Lehrbuch der Molekularen Zellbiologie*. (L. Nover & P. v. Koskull-Döring, Hrsg. der Übersetzung). Weinheim: Wiley.
- Bovet, G. & Huwendiek, V. (Hrsg.) (2011). *Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrerberuf*. Berlin: Cornelsen.
- Dirks, M., Engelen, S. & Lübeck, M. (2015). Kompetenzorientierter, naturwissenschaftlicher Unterricht am Gymnasium von Anfang an?! In Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), *SINUS.NRW – Impulse für einen kompetenzorientierten naturwissenschaftlichen Unterricht. Materialien und Anregungen zur Unterrichtsentwicklung – Berichte aus den SINUS.NRW-Projekten* (Die Schule in Nordrhein-Westfalen, 9050/2, 1. Auflage, S. 7–28). Düsseldorf.
- Giere, R., Bickle, J. & Mauldin, R. (2006). *Understanding Scientific Reasoning*. Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- MSW = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II, Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Biologie. Düsseldorf.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T. & Pöhlmann, C. (Hrsg.) (2013). *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann.
- Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 41–57.
- Upmeier zu Belzen, A. (2013). Unterricht mit Modellen. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 325–334). Hallbergmoos: Aulis.

Projektgruppe

Dr. Dagmar Friedrichs, Görres Gymnasium, Düsseldorf

Dr. Horst Bickel, Düsseldorf

Isabel Edeler, Theodor-Heuss-Gymnasium, Essen