

Unterrichtsmaterial für den Ökologieunterricht der Oberstufe

Welche Einflüsse hat der Klimawandel auf Nahrungsnetze der Ostsee?

Antworten aus der Meeresforschung

Annika Meier,
Sabine Temming,

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel / Toni-Jensen-Schule, Kiel
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel / Gymnasium
Wellingdorf, Kiel

Stand: 24.07.24

1	EINFÜHRUNG	1
2	STUDIEN – EINFLUSS DES KLIMAWANDELS AUF ORGANISMEN DER OSTSEE	3
3	UNTERRICHTSMATERIAL	5
3.1	Relevanz	5
3.2	Material	6
4	UNTERRICHTSVORSCHLAG	8
4.1	Zeitbedarf	8
4.2	Lernvoraussetzungen	8
4.3	Ablauf	8
5	UNTERRICHTSVORSCHLAG - ABLAUFPLAN IM ÜBERBLICK	10
6	LITERATUR	11
7	WEITERE LITERATUR	11

1 Einführung

Nahrungsketten und Nahrungsnetze sind Schüler:innen schon aus dem Ökologie-Unterricht der Mittelstufe bekannt.

Die Nahrungskette ist ein Modell für die linearen energetischen und stofflichen Beziehungen zwischen Beutearten und deren Räubern und ist nach Trophieebenen gegliedert. Doch letztendlich bildet sie nur

eine situative Betrachtung der einfachen Abfolge einer Fresssituation. Oft können Organismen sowohl Pflanzen als auch Tiere fressen, bei Mangel ihre Ernährung verlagern und ihre Beute oder den Lebensraum im Laufe ihres Alters ändern. Zudem findet stets der Prozess der Remineralisierung statt, wobei ein Teil der Biomasse durch Destruenten wieder freigesetzt wird und als Mineralien erneut zur Verfügung steht. Es entwickelt sich ein Bild mit verzweigten Strukturen und Rückkopplungen, welches über die Vorstellung einer einfachen Nahrungskette hinaus geht. Das Modell eines Nahrungsnetzes kommt dem komplexen Beziehungsgeflecht viel näher und kann klären, welche Bedeutungen einzelne Arten für das Ökosystem haben, wie der Energiefluss durch die Lebensgemeinschaft verläuft und inwieweit ein Gleichgewicht im System besteht. Jedoch auch hierbei handelt es sich um eine vereinfachte Darstellung.¹

Diese Analysen sind gerade in der heutigen Zeit der Klimakrise und dem wachsenden Bewusstsein für die Umwelt hoch aktuell. Dabei rücken die Ozeane immer mehr ins Zentrum der Aufmerksamkeit, schließlich beeinflussen sie maßgeblich unser Klima und stellen eine wichtige Ernährungsquelle für die Weltbevölkerung dar.

Die Meeresforschung gelangt zu Erkenntnissen, welche Maßnahmen sinnvoll sind, um Ökosysteme im Meer im Spannungsfeld unterschiedlicher Interessen nachhaltig aufrecht zu erhalten.² Die Ostsee stellt sich dabei als ein wichtiger Untersuchungsgegenstand heraus. Die natürlichen Gegebenheiten machen das Nebenmeer zu einem äußerst empfindlichen Ökosystem. Menschliche Eingriffe und Klimaveränderungen spielen eine besonders große Rolle. Die Ostsee ist bedroht durch Überfischung, Eutrophierung, Sauerstoffmangel, Erwärmung der Wassertemperatur und invasive Arten. Damit dient die Ostsee als Paradigma, wobei Forschungsergebnisse auf Küstenregionen weltweit übertragen werden können.^{3,4}

Durch die „Vermittlung ökologischer Zusammenhänge“ liefert das Fach Biologie „zentrale Impulse für die gesellschaftliche Diskussion einer nachhaltigen Entwicklung“.⁵ Im Biologieunterricht der Oberstufe sind Nahrungsbeziehungen sowie nachhaltige Entwicklung und die Folgen des anthropogen bedingten Treibhauseffekts verbindliche Fachinhalte im Inhaltsbereich *Lebewesen in ihrer Umwelt*.⁶ Verlage für Schulbücher gehen darauf ein, jedoch steht nur selten Material zur Verfügung, mit dem Schüler:innen selbst ein Modell von Nahrungsnetzen entwickeln können. Es wird zwar auf Auswirkungen des Klimawandels eingegangen, jedoch wenig auf aktuelle Ökosystem-Forschung Bezug genommen.

Diese Verbindung wurde mit einem Forschungsvermittlungspraktikum beim GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel in den Fokus genommen. Im Rahmen des aktuellen Forschungsinteresses und der Vorgaben der Fachanforderungen Schleswig-Holsteins für Biologie der Sekundarstufe II wurde das vorliegende Unterrichtsmaterial entwickelt, welches im Themenbereich *Lebewesen in ihrer Umwelt* in den Unterricht integriert werden kann.

Das Unterrichtsmaterial wurde in verschiedenen Lerngruppen der Oberstufe im Rahmen des

¹ HACKER, S. et al. 2019, S. 1729.

² MARIBUS 2010, S. 4 f.

³ HUPFER, P. 2010, S. 148 ff.

⁴ REUSCH, T.B.H. et al. (2018)

⁵ MINISTERIUM FÜR ALLGEMEINE UND BERUFLICHE BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN 2023, 3. Auflage, S. 36.

⁶ MINISTERIUM FÜR ALLGEMEINE UND BERUFLICHE BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN 2023, 3. Auflage, S. 55.

Schulunterrichts und im Schülerlabor des GEOMAR erprobt.

2 Studien – Einfluss des Klimawandels auf Organismen der Ostsee

Im Folgenden werden wesentliche Aspekte der drei Studien vorgestellt, auf denen das Material basiert:

A) Morón Lugo et al 2020: *Warming and temperature variability determine the performance of two invertebrate predators*⁷

Die Temperatur hat nachweislich tiefgreifende Auswirkungen auf physiologische Funktionen wie den Sauerstoffverbrauch, die Herzfrequenz, die Nahrungsaufnahme und die Aktivität von Lebewesen. Zwar können Organismen als Reaktion auf schwankende Umweltreize metabolische Anpassungen vornehmen, doch gerade ektotherme Lebewesen sind stark von Veränderungen in ihrer thermischen Umgebung betroffen. In den letzten Jahren wurden verstärkt marine Hitzewellen beobachtet und eine weitere Zunahme wird erwartet⁸. Das sind kurze, aber extreme Anstiege der Wassertemperatur. Die Studie von Morón Lugo et al. untersuchte das Verhalten zweier Invertebraten auf die Erwärmung der Wassertemperatur und schließt dabei Temperaturschwankungen um den Mittelwert (entsprechend einer marinen Hitzewelle) mit ein.

Die Experimente fanden in den Tanks der Kieler Indoor-Benthokosmen⁹ statt. Jedes Becken wurde mit Ostseewasser befüllt und jeweils mit drei Individuen des einheimischen Seesterns *Asterias rubens* und der invasiven Bürstenkrabbe *Hemigrapsus takanoi* bestückt. Sowohl *A. rubens* als auch *H. takanoi* wurden jeden zweiten Tag mit frisch gesammelten Miesmuscheln (*M. edulis*) gefüttert.

Zwei Monate lang wurden vier verschiedene Szenarien durchgeführt (siehe Versuchsaufbau, Mat. A):

Behandlung 1: Die Arten wurden einer Temperaturkurve des Wassers ausgesetzt, die zwischen Juli und September einem natürlichen jahreszeitlichen Signal folgt.

Behandlung 3: Außerdem wurden Behandlungen mit einem zukünftig erwarteten Erwärmungsszenario von +4°C durchgeführt.

Behandlung 2 & 4: Zum anderen bildeten diese beiden Temperaturkurven die Basis für zwei weitere Szenarien, bei denen die Organismen einem sinusförmigen Temperaturzyklus ausgesetzt waren, wobei die Wellenlänge 8 Tagen und die Amplitude ± 3 °C entsprachen.

Für die Analyse wurden Wachstumsrate und Nahrungsaufnahme aller Individuen ausgewertet.

Die Untersuchungen ergaben, dass sich die Erwärmung eindeutig negativ auf die Verbrauchsraten und die Zunahme der Biomasse des Seesterns auswirkte. Die sinusförmigen Schwankungen in erwärmten Bedingungen belasteten die Seesterne stärker als die Erwärmung allein. Im Gegensatz dazu blieb die Energieaufnahme der Bürstenkrabbe über die zwei Monate ziemlich konstant, am höchsten war sie in den wärmsten Phasen.

Die Studie deutet auf klare artspezifische Reaktionsschemata auf die Erwärmung und Temperaturschwankungen (simulierte Hitzewellen) bei den beiden untersuchten Arten *Asterias rubens* und *Hemigrapsus takanoi* hin mit möglichen Konsequenzen für die lokale Ökosystemdynamik. In dieser Studie zeigt sich die invasive Bürstenkrabbe dem einheimischen Seestern deutlich überlegen. Dass sich beide Arten u. a. von Miesmuscheln ernähren, weist auf eine Nahrungskonkurrenz hin. Es geht

⁷ MORÓN LUGO, C. et al. 2020.

⁸ WOLF et al. 2022

⁹ KIEL INDOOR BENTHOCOSMS: <https://www.geomar.de/chieibenthal/kiel-indoor-benthocosms-kib> , zuletzt aufgerufen: 11.07.2024

außerdem aus den Ergebnissen hervor, dass sich die Forschung zum Klimawandel mit der Frage befassen muss, inwieweit mittlere Temperaturveränderungen im Zusammenspiel mit extremen Ereignissen das Schicksal einer Art im Klimawandel bestimmen werden.

B) Werner et al. 2016: *Even moderate nutrient enrichment negatively adds up to global climate change effects on a habitat-forming seaweed system*¹⁰

Der Blasentang (*Fucus vesiculosus*) ist in der Ostsee die dominante lebensraumbildende Braunalge und bildet ein eigenes Ökosystem. Dieses Fucus-System ist ein wichtiger Primärproduzent, strukturiert die küstennahe Meereszone, spielt eine entscheidende Rolle beim Nährstoffkreislauf und bei der Speicherung, ist Substrat- und Nahrungslieferant und bietet Lebensraum für eine vielfältige Gemeinschaft von epiphytischen Mikroalgen, fadenförmigen epiphytischen Makroalgen, Krebstieren und Schnecken. Die Studie von Werner et al. beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Umweltstressoren auf das Fucus-System und basiert auf einer vorigen Studie mit gleichem Versuchsaufbau, bei der Effekte von Temperatur und CO₂ getestet wurden. Steigende Meerwassertemperatur und Kohlenstoffdioxidkonzentration werden als globaler Trend gesehen. Marine Küstenregionen sind jedoch zusätzlich einem lokalen Druck ausgesetzt, wie zum Beispiel der Nährstoffanreicherung oder erhöhter Sedimentation. Somit stellt sich für diese Studie die Frage, welche interaktiven Effekte der gemeinsam auftretenden globalen Veränderungsfaktoren (Temperatur und CO₂) und eines vorherrschenden lokalen Stressors (Nährstoffanreicherung) sich auf das Fucus-System der Ostsee im Sommer ergeben.

Durchgeführt wurde die Studie in den Kieler Outdoor-Benthokosmen¹¹, eine Anlage im Freien auf einem Steg in der Kieler Förde. Sie besteht aus 12 Versuchsbehältern, die ungefiltertes Ostseewasser enthalten, welches einmal pro Tag ausgetauscht wird. In jeden Behälter wurden 20 Thalli des Blasentangs einschließlich Begleitflora und -fauna gesetzt. Außerdem wurden Meerasseln (*Idotea spp.*), Flohkrebse (*Gammarus spp.*) und Strandschnecken (*Littorina littorea*) gleichmäßig verteilt hinzugefügt. Diese Arten sind Weidegänger und ernähren sich von Epiphyten, also Mikro- und Makroalgen, die auf den Thalli des Blasentangs wachsen.

Die Forschungsfrage führt zu vier verschiedenen Behandlungen, die Klimawandel-Effekte simulieren und mit denen die Organismen konfrontiert wurden:

1. Kontrollbehandlung mit den derzeitigen Bedingungen der Kieler Förde,
2. erhöhte Temperatur und CO₂-Konzentration,
3. reine Nährstoffanreicherung,
4. erhöhte Temperatur und CO₂-Konzentration sowie Nährstoffanreicherung.

Das Experiment ergab, dass eine alleinige Nährstoffanreicherung (Behandlung 3) nur geringe Auswirkungen auf das Fucus-System hatte. Erhöhte Temperatur + CO₂-Erhöhung (Behandlung 2) lösten jedoch einen Kaskadeneffekt aus, da dies zu einer wahrscheinlich hitzestressbedingten Sterblichkeit bei den Krebstieren führte. Der damit einhergehende verminderte Fraßdruck verstärkte eine Überwucherung der Epiphyten mit einem anschließenden Absterben von *F. vesiculosus*. Zusätzlich behinderte der Hitzestress die photosynthetische Aktivität des Blasentangs und führte zum Rückgang seiner Biomasse. Die Kombination von Temperatur-, CO₂- und Nährstoffanreicherung (4) verursachte eine Beschleunigung dieses Prozesses und eine Verschiebung von einem Fucus-System hin zu einem System, das von einzelligen und fadenförmigen Epiphyten dominiert wurde.

Mit der Studie konnte gezeigt werden, dass lokale und globale Umweltstressoren interaktive Effekte auf

¹⁰ WERNER, F. J. et al. 2016.

¹¹ DIE KIELER OUTDOOR- UND INDOOR BENTHOKOSMEN: <https://www.geomar.de/entdecken/benthokosmen> , zuletzt aufgerufen am 11.07.2024

Ökosysteme ausüben können, mit insgesamt verstärkt negativen Auswirkungen. Die Abschwächung der Eutrophierung könnte also den Druck des Klimawandels auf marine Ökosysteme reduzieren.

C) Eriksson et al. 2009: *Declines in predatory fish promote bloom-forming macroalgae*¹²

Die erhöhte Produktion von Phytoplankton und ephemeren (sehr kurzlebigen) Makroalgen wird als eines der gravierendsten Umweltprobleme in der gesamten Ostseeregion angesehen. Denn eine Massenentwicklung von Algen erhöht die Trübung, lässt andere Vegetation ersticken und absterben, so dass es als Folge zu Sauerstoffmangel kommt.

Die Algenblüte wird nicht nur durch Nährstoffanreicherung wegen küstennaher Eutrophierung gefördert, sondern auch durch Top-Down-Effekte. Ein Top-Down-Effekt liegt in einem Ökosystem vor, wenn eine höhere Trophieebene die Abundanz der darunter liegenden Ebene kontrolliert.

In der Ostsee herrscht ein Rückgang von Raubfischen. In diesem Zusammenhang steht ein beobachtbarer Zuwachs von kleinwüchsigen Fischen (5-10 cm). Weiter denkend stellen die Wissenschaftler:innen dieser Studie die Hypothese auf, dass eine abnehmende Anzahl an Räubern ähnliche kaskadenartige Effekte wie eine Nährstoffanreicherung erzeugt, indem sie Algenblüten fördert, da es zu einer Vermehrung der kleineren Fische kommt, die die Weidegänger dezimieren, so dass weniger Algen konsumiert werden.

Die Untersuchungen zu der Studie fanden als Feldexperiment zwischen Mai und August statt, bei dem Stahlkäfige in 57 flachen Buchten mit einer jeweiligen Küstenlinie von mindestens 10 km installiert wurden, in denen sich Algen und weitere Meeresorganismen ansiedeln konnten. Die verschlossenen Stahlkäfige sorgten für den Ausschluss von großen Raubfischen (Behandlung A), zu den offenen Käfigen hatten Raubfische Zugang (Behandlung B).

Eine Eutrophierung durch landwirtschaftlichen Dünger wurde durch Zugabe von gelöstem Stickstoff, Phosphor und Kalium imitiert. Die Behandlungen A und B wurden einmal mit unverändertem Nährstoffgehalt (1 & 3) und einmal mit einer Nährstoffanreicherung (2 & 4) durchgeführt.

Das Experiment bestätigte die Hypothese und zeigte, dass der Ausschluss großer Raubfische und die Zugabe von Nährstoffen die Anzahl der kleinwüchsigen Fische drastisch erhöht. Mit der Vermehrung von kleinen Fischen entstand ein hoher Fraßdruck auf Schnecken und andere Weidegänger. Die dann geringere Anzahl von Weidegängern führte zu einer geringeren Abweidung ephemerer Algen. Die reduzierte Beweidung verminderte schlussendlich die Kontrolle über die fadenförmigen Makroalgen des Phytobenthos und verstärkte deren Biomassenentwicklung.

Für den Schutz der Ostsee lässt sich hieraus die Notwendigkeit einer Reduzierung der Nährstoffbelastung ableiten. Die Ergebnisse der Studie legen jedoch ebenso nahe, dass auch Top-Down-Effekte berücksichtigt und das Fischereimanagement in das gesamte Umweltmanagement der Ostsee eng eingebunden werden müssen.

3 Unterrichtsmaterial

3.1 Relevanz

Biodiversität meint die biologische Vielfalt auf der Erde. Dabei geht es nicht nur um den Artenreichtum an sich, sondern auch um die genetische Bandbreite innerhalb einer Art und das Spektrum von

¹² ERIKSSON, B. K. et al. 2009.

Lebensräumen. Die Forschung ist sich einig, dass biologische Vielfalt Ökosysteme funktionstüchtig und leistungsfähig hält sowie Lebensräume widerstandsfähiger gegen Umweltveränderungen macht. Vielfalt kann damit eine potenzielle „biologische Versicherung“ für die Aufrechterhaltung von Ökosystemleistungen darstellen. Doch es gibt keinen Zweifel, dass die biologische Vielfalt mit wachsender Geschwindigkeit verloren geht. Um dem gezielt entgegenwirken zu können, braucht es das Wissen, wie Lebensgemeinschaften in Beziehungen stehen, welche Bedeutung jeweilige Arten für die Ökosystemleistung erbringen und welche Konsequenzen der Ausfall einer Art auf das Ökosystem hat.¹³ Die Erstellung von Nahrungsnetzen hilft dabei, diese Zusammenhänge zu verdeutlichen. Nur mit dem Verständnis, wie Biodiversität funktioniert, können Handlungen erschlossen werden, um Ökosysteme langfristig lebenswert zu erhalten.

3.2 Material

Vorbereitung: Das konzipierte Material besteht aus drei Teilen und sollte farbig kopiert zur Verfügung gestellt werden. Es wird in Gruppen arbeitsteilig gearbeitet, so dass jede Gruppe sich mit einer der drei Studien (A, B, C) beschäftigt. Die Themen werden mehrfach vergeben, d.h. mehrere Gruppen arbeiten parallel an Thema A, B, oder C.

Übersicht Material:

Material 1: *Infotext Ostsee*

- ➔ pro Schüler:in je 1 doppelseitige Kopie

Material 2: *Nahrungsnetz (21 Organismen-Steckbriefe, 21 Organismen-Kärtchen, Lebensraum-Vorlage)*

- ➔ je 1 Satz pro 3er (4er) - Gruppe, einseitig kopiert, laminiert und zugeschnitten
- ➔ pro Gruppe 2 verschiedenfarbige wasserlösliche Folienstifte (z.B. blau und rot)

Material 3: *Studien im Überblick*

- ➔ pro Gruppenmitglied 1 Kopie

Beschreibung des Materials:

Material 1: Informationstext zur Ostsee (Arbeitsbogen)

Die Schüler:innen sollen zum Thema und damit zum Ort des Geschehens hingeführt werden. Material 1 informiert auf zwei Seiten bündig, wie die Ostsee entstanden ist und welche Eigenschaften aus der Art der Entstehung hervorgehen. Außerdem führt es in die Modellbildung von Nahrungsnetzen ein. Zum Schluss informiert ein kurzer Absatz über die Bedrohungen der Ostsee und über Fragestellungen der Meeresforschung.

oder **Einführung durch die Lehrkraft** (Präsentation-> ppt-Datei, Folien 1-7)).

Die Lehrkraft informiert unterstützt durch die Präsentation über die o.g. Aspekte. Auch eine Kombination ist denkbar.

Material 2: Nahrungsnetz

Material 2 a: Organismen-Steckbriefe (farbig, laminiert, ausgeschnitten):

Dazu gehören zunächst Steckbriefe von Organismen, die in der Ostsee beheimatet sind. Reduziert ist die Anzahl auf 21 Arten, damit das Nahrungsnetz übersichtlich bleibt. Bei der Auswahl wurde darauf

¹³ MARIBUS 2010, S. 114 ff., MARIBUS 2021, S. 54 ff.

geachtet, dass alle trophischen Ebenen, unterschiedliche Lebensräume und repräsentative Arten vertreten sind. Alle Steckbriefe enthalten folgende Informationen:

- Bild des Organismus,
- wissenschaftlicher Artname und gängiger Trivialname,
- Lebensraum (Benthal, Pelagial, Küstenzone)
- Ernährungsstrategie (Weidegänger, Filtrierer, Räuber, Allesfresser)
- Hauptnahrungsquellen.

Material 2 b: Organismen-Kärtchen (farbig, laminiert, ausgeschnitten)

Dazu gehört jeweils ein kleines Kärtchen, auf dem nochmals der Artname und das Bild zur schnellen Wiedererkennung vorzufinden ist. Mit den Informationen der Steckbriefe und den kleinen Kärtchen kann ein Nahrungsnetz modelliert werden.

Material 2 c: Lebensraum-Vorlage (DIN A3, farbig, laminiert)

Vorgesehen ist dies auf einem laminierten DIN A3-Bogen, der einen Ausschnitt einer Unterwasserlandschaft mit dem Blasentang als dominierender Art skizziert. Die Kärtchen können auf diesen Bogen gelegt und die Beziehungen der Organismen anhand von Folienstiften kenntlich gemacht werden. Diese Technik lässt ebenso die Möglichkeit für Veränderungen, wie für Berichtigungen von Fehlern. Das schnelle Hin- und Herschieben der Kärtchen und das einfache Wegwischen des Folienstifts ermuntert die Schüler:innen zu einem prozesshaften Arbeiten und Ausprobieren innerhalb der Kleingruppe.

Material 3: Studien im Überblick (DIN A4, farbig, 3 Arbeitsbögen)

Auf einem Arbeitsbogen (A, B, C) sind die vorgestellten Studien schematisch zusammengefasst. Es handelt sich bei den Zusammenfassungen um starke Reduktionen der wissenschaftlichen Arbeiten. Oft sind nur Teile der Experimente übernommen und Schlüsselergebnisse übertragen. Die Sprache wurde ins Deutsche übersetzt und vereinfacht. Nichtsdestotrotz wird das Sprachniveau der Schüler:innen gefördert und biologische Fachsprache ist integriert. Das Schema der Zusammenfassung spiegelt eine wissenschaftliche Arbeitsweise wider. Ganz oben auf dem Blatt führt bereits bekanntes Wissen zur Forschungsfrage hin. Unter der Forschungsfrage wird in einem eingegrenzten Abschnitt über das experimentelle Design informiert. Dies wird gleichzeitig in einer Grafik veranschaulicht. Darunter folgen dann die Hypothesen und Ergebnisse, teils in Form von Lückentexten. Ganz unten finden sich Arbeitsaufträge zur Förderung der Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Sachverhalt durch die Lernenden. Im Material für die Lehrkraft (A, B, C, komplett) sind die Lücken ausgefüllt. Außerdem wird dort verdeutlicht, welche praktischen Implikationen und Schlussfolgerungen die Wissenschaftler:innen aus den Ergebnissen ziehen und welche weiteren Forschungsfragen anknüpfen. Die Erarbeitung und die Ergebnisse sollen in einem weiteren Schritt der restlichen Lerngruppe durch die jeweilige Arbeitsgruppe vorgestellt werden und auf die von den Schüler:innen konstruierten Nahrungsnetze übertragen werden. Mit der Frage „Welche Auswirkungen haben die in der Studie präsentierten Effekte auf unser Nahrungsnetz?“ soll das Modell modifiziert werden. Dafür stehen auch weitere nicht beschriftete Kärtchen zur Verfügung, auf denen Organismen aufgeschrieben werden können, die nicht Teil der Steckbriefauswahl sind. Beispiele dafür sind der Mensch oder invasive Arten. Es können auch weitere Aspekte ergänzt werden wie Detritus als Nahrung oder die Sonne als Energiequelle.

4 Unterrichtsvorschlag

4.1 Zeitbedarf

Ideal sind 3 Schulstunden am Stück; wenn nur 90 Min. zur Verfügung stehen, können die wesentlichen Besonderheiten der Ostsee (Phase 1) in einer vorherigen Stunde thematisiert werden. Denkbar ist auch eine Einbettung in eine längere Unterrichtseinheit zur Ökologie der Ostsee. Da der Schwerpunkt dieses Unterrichtsvorschlags jedoch auf der Anwendung aktueller Forschungsergebnisse auf Nahrungsnetze der Ostsee liegen soll, können die Besonderheiten des Lebensraumes auch nur kurz thematisiert werden.

4.2 Lernvoraussetzungen

Der Unterrichtsvorschlag wurde für Lerngruppen konzipiert, die schon Vorwissen in folgenden Bereichen der Ökologie haben:

- Umweltfaktoren, insbesondere der Einfluss der Temperatur auf Lebewesen,
- Stoffkreisläufe, insbesondere der Stickstoffkreislauf,
- Eutrophierung.

4.3 Ablauf

1. Unterrichtsabschnitt: Grundlagen - Besonderheiten und Gefährdungen der Ostsee

Zunächst wird Hintergrundwissen über die Besonderheiten der Ostsee und ihre Gefährdungen erarbeitet, wenn dies nicht schon im vorangegangenen Unterricht geschehen ist. Hier werden zwei Alternativen vorgeschlagen, um kurz und knapp die nötigsten Grundlagen zu erfassen. Die Schüler:innen können die Sachverhalte mit Hilfe eines Informationsblattes zur Ostsee (Material 1) selbstständig erarbeiten. Hierbei kann arbeitsteilig vorgegangen werden: Eine Hälfte der Lerngruppe beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Seite 1, die andere mit Seite 2. Im Anschluss stellen einzelne Gruppenmitglieder unterstützt durch die Lehrkraft die Erkenntnisse vor, ggf. mit Hilfe der Präsentationsfolien. Alternativ informiert die Lehrkraft die Lerngruppe über diese Zusammenhänge (Folien 1-7).

2. Unterrichtsabschnitt: Nahrungsnetze erstellen

Nach einer kurzen Überleitung, in der die Lehrkraft in die Zonierung der Ostsee (hier nur Benthos und Pelagial) einführt und den Blasentang *Fucus vesiculosus* als Lebensraum bildende Braunalgenart vorstellt, wird das Prinzip eines Nahrungsnetzes erläutert oder wiederholt. Die Schüler:innen erhalten den Auftrag in Gruppen à 3 Schüler:innen mit Hilfe der Informationen der Steckbriefe (Material 2 a) aus den Kärtchen (Material 2 b) auf der DIN A 3 Unterlage (Material 2 c) ein Nahrungsnetz zu erstellen (Folien 8-10). Die Pfeile werden mit wasserlöslichen Folienstiften ergänzt. Bewusst wird hier auf analoges Arbeiten gesetzt. So sind alle Arbeitsschritte für alle Gruppenmitglieder sichtbar und nachvollziehbar. Die (vorläufigen) Ergebnisse können zudem leicht verändert werden.

Zum Abschluss dieser Phase erstellt die Lehrkraft digitale Fotografien der Ergebnisse, damit diese leicht präsentiert werden können. Dies sollte exemplarisch durch Gruppenmitglieder anhand von ein bis zwei

Beispielen geschehen. Als wesentliche Erkenntnis kann insbesondere die Komplexität der Beziehungen festgehalten werden, was oft schon optisch sehr deutlich wird. Die Ergebnisse sind nicht immer eindeutig und es gibt viele Tiere, die nicht nur einer Trophiestufe zugeordnet werden können oder diese im Laufe ihres Lebens wechseln (z.B. sind Fischlarven meist Erstkonsumenten, manche adulte Fische wie der Dorsch jedoch Räuber).

Wichtig ist es, die Ergebnisse für die nächste Arbeitsphase auf den Tischen liegen zu lassen.

3. Unterrichtsabschnitt: Anwendung von Forschungsergebnissen auf Nahrungsnetze

Die Gruppen erhalten drei verschiedene graphisch aufbereitete Zusammenfassungen wissenschaftlicher Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensgemeinschaften der Ostsee (Material 3).

Die Gruppen bekommen eine mehrstufige Aufgabe (Folie 11): Zunächst sollen die Gruppenmitglieder sich anhand von Mat. 3 (A, B, C) über die Experimente informieren, indem sie die Lücken ausfüllen und die Arbeitsaufträge bearbeiten. Zudem sollen sie sich darauf vorbereiten, die jeweilige Studie den anderen Gruppen vorzustellen. Darüber hinaus sollen die Nahrungsnetze entsprechend der Ergebnisse der jeweiligen Studie verändert werden. Hierzu werden rote Folienstifte und Blankokärtchen ausgegeben. Es können Beziehungen ergänzt, gelöscht oder verändert werden und Lebewesen entfernt oder hinzugefügt werden.

Auch diese Ergebnisse werden von der Lehrkraft fotografisch festgehalten.

Auswertung: Damit alle Gruppen über die Studien informiert sind, stellen Mitglieder aus den Gruppen (ggf. anhand der Präsentationsfolien 12-18) die von ihnen bearbeiteten Studien vor. Dann werden die veränderten Nahrungsnetze für alle sichtbar projiziert und vorgestellt. Im Anschluss werden mögliche Konsequenzen des Klimawandels für Nahrungsnetze der Ostsee zusammengefasst und Handlungsmöglichkeiten diskutiert.

5 Unterrichtsvorschlag - Ablaufplan im Überblick

Zeit Min., ca.	Sozialform	Inhalte und Aufgabenstellung	Material/Medien
15-20'	LV (UG)	1. Einleitung: Besonderheiten und Gefährdungen der Ostsee AB Lebensraum Ostsee (Mat. 1) oder Präsentation (Fol. 1-7)	AB (Mat. 1) Beamer/ Smartboard
20'	Gruppenbldg. + Material verteilen GA	2. Nahrungsnetze 2.1 Erstellen eines Nahrungsnetzes Arbeitsauftrag: <i>Erstellen Sie ein Nahrungsnetz der Ostsee.</i> (Folien 8-10) Lehrkraft hält Ergebnisse fotografisch fest.	Mat. 2: a) Steckbriefe b) Organismen-Kärtchen c) Lebensraum-Vorlage Folienstifte Folienstifte Tablet/ Smartphone
10-15'	Sicherung SV	2.2 Vorstellung von 2-3 Nahrungsnetzen durch Gruppensprecher:in Nahrungsnetze werden so LIEGEN GELASSEN!	Beamer/ Smartboard Fotos der Ergebnisse
	ggf. PAUSE		
30'	EA GA, arbeitsteilig	3. Anwenden von Forschungsergebnissen auf Nahrungsnetze 3.1 Auswertung wissenschaftlicher Studien zu den Folgen des Klimawandels auf Nahrungsnetze der Ostsee Arbeitsauftrag: 1. <i>Informieren Sie sich über die Experimente in den Studien und die Ergebnisse, bearbeiten Sie die Aufgaben...</i> <i>...und bereiten Sie sich vor, diese den anderen Gruppen kurz vorzustellen.</i> 2. <i>Verändern Sie Ihr Nahrungsnetz und leiten Sie Konsequenzen ab.</i> Lehrkraft hält Ergebnisse fotografisch fest.	AB (Mat. 3) A: Werner et al. B: Moron L. et al. C: Eriksson et al. wie oben, dazu: asiat. Bürstenkrabbe(A) Blanko-Kärtchen Tablet/ Smartphone
10'	SV: Studien A, B, C SV: veränderte Nahrungsnetze	3.2 Vorstellung der Studien und der veränderten Nahrungsnetze Arbeitsauftrag: 1. <i>Stellen Sie Ihre Studien mit Hilfe der ppt-Folien vor (A, B, C)</i> 2. <i>Stellen Sie Ihr verändertes Nahrungsnetz vor.</i> (Folien 12-18)	Beamer/ Smartboard Fotos der veränderten Ergebnisse
10'	UG: Diskussion	3.3 Konsequenzen für Nahrungsnetze und Ökosystem Ostsee & Handlungsmöglichkeiten (ggf. Fol. 19-21)	

Abkürzungen: LV = Lehrer:innenvortrag; SV = Schüler:innenvortrag; UG Unterrichtsgespräch;
GA = Gruppenarbeit; EA = Einzelarbeit

6 Literatur

ERIKSSON, B. K. et al. (2009): Declines in predatory fish promote bloom-forming macroalgae, *Ecological Applications*, 19(8):1975-1988.

HACKER, S. et al. (2019): Purves Biologie. 10. Auflage. Springer.

HUPFER, P. (2010): Die Ostsee. Kleines Meer mit großen Problemen. 5. Auflage. Bornträger.

KIEL INDOOR BENTHOCOSMS: <https://www.geomar.de/chiebenthal/kiel-indoor-benthocosms-kib>, zuletzt aufgerufen: 11.07.2024

DIE KIELER OUTDOOR- UND INDOOR BENTHOKOSMEN:
<https://www.geomar.de/entdecken/benthokosmen>, zuletzt aufgerufen: 11.07.2024

MARIBUS (Hrsg.) (2010): World Ocean Review 2010. Mit dem Meer leben. Maribus.

MARIBUS (Hrsg.) (2021): World Ocean Review 2021. Lebensgarant Ozean. Maribus.

MINISTERIUM FÜR ALLGEMEINE UND BERUFLICHE BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (2023): Fachanforderungen Biologie, Allgemeinbildende Schulen, Sekundarstufe I + II. Kiel, 3. Auflage.

MORÓN LUGO, C. et al. (2020): Warming and temperature variability determine the performance of two invertebrate predators, *Sci Rep* 10:6780

REUSCH, T.B.H. et al. (2018): The Baltic Sea as a time machine for the future coastal ocean. *Sci. Adv.*, Vol. 4, Issue 5, DOI: 10.1126/sciadv.aar8195

WERNER, F. J. et al. (2016): Even moderate nutrient enrichment negatively adds up to global climate change effects on a habitat-forming seaweed system., *Limnol. Oceanogr.* 61 (5): 1891-1899.

WOLF, F. et al. (2022): The Role of Recovery Phases in mitigating the Negative Impacts of Marine Heatwaves on the Sea Star *Asterias rubens*, *Front. in Mar. Sci.* 8.

7 Weitere Literatur

FRAEDRICH, W. (2021): Das Auf und Ab am Kattegat, *geographie heute* 356:36-39.

HELCOM (2017): FIRST VERSION OF THE „STATE OF THE BALTIC SEA“ REPORT, S. 14.

HEMPEL, GOTTHILF (Hrsg.) (2017): Faszination Meeresforschung: ein ökologisches Lesebuch. 2. Auflage. Berlin.

KREFT, MILENA: (2002): Ozean Online: Marine Nahrungsnetze.

SNOEIJIS-LEIJONMALM, P. ET AL. (2017): Biological Oceanography of the Baltic Sea, Springer.