

Meere im Kontext der globalen Erwärmung

Experimente für eine schulische Thematisierung der Erwärmung und der Versauerung der Meere sowie des Meeresspiegelanstiegs

Till Schmäing, Norbert Grotjohann

Universität Bielefeld, Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld, Till.Schmaeing@uni-bielefeld.de

Ein Problemfeld mit gravierenden Auswirkungen auf nahezu sämtliche Ökosysteme unserer Erde ist – nicht erst seit der durch die schwedische Schülerin und Klimaschutzaktivistin Greta Thunberg angestoßenen öffentlichen Debatte – die globale Erderwärmung. Dieser Beitrag thematisiert eingangs aus fachlicher Perspektive die globale Erwärmung und die damit verbundenen Konsequenzen für die Meere. In diesem Kontext werden die Grundlagen des anthropogenen Treibhauseffekts dargestellt und darauf basierend auf den Anstieg des Meeresspiegels sowie auf die Versauerung und die Erwärmung der Meere fokussiert. Im Anschluss werden die sich im Anhang befindlichen unterrichtlichen Materialien hingehend ihrer Einsatzmöglichkeiten erläutert und einige Hinweise für eine Umsetzung in die schulische Praxis illustriert.

Stichwörter: Globale Erwärmung, Klimawandel, Erwärmung der Meere, Meeresspiegelanstieg, Versauerung der Meere, Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

1 Die globale Erwärmung und ihre Folgen für die Meere

1.1 Der anthropogene Treibhauseffekt als Ursache der globalen Erwärmung

Die globale Erwärmung ist aktuell eines der medial am häufigsten dargestellten Themen. In diesem Zusammenhang kommen jedoch auch immer wieder Stimmen auf, die eine menschlich verursachte Erderwärmung bezweifeln oder gar davon überzeugt sind, dass es diese in keinsten Weise gibt. Aus wissenschaftlicher Sichtweise sind diese Ansichten jedoch in aller Deutlichkeit zu widerlegen. Im Laufe der Erdgeschichte gab es aufgrund verschiedener natürlicher Einflüsse immer wieder große Schwankungen der durchschnittlichen Erdoberflächentemperatur. Die Erklärungen für die aktuell immer weiter voranschreitende globale Erwärmung sind jedoch nicht ausschließlich auf natürliche Einflüsse zurückzuführen, sondern vielmehr ein Resultat diverser menschlicher Verhaltensweisen.

Im Folgenden werden die Ursachen für diese Entwicklung erläutert und mit Hilfe von wissenschaftlichen Daten die globale Situation beurteilt.

Nach aktuellem wissenschaftlichen Forschungsstand sind vor allem Treibhausgase für die globale Erwärmung verantwortlich. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass Treibhausgase das menschliche Leben auf der Erde überhaupt erst ermöglichen. So lassen Treibhausgase die kurzwellige Einstrahlungsenergie der Sonne bis auf die Erdoberfläche hindurch, halten aber die langwellige Rückstrahlungsenergie zu Teilen in der Atmosphäre auf und verhindern so ein vollständiges Entweichen der Sonnenwärme aus der Atmosphäre hinaus in das Weltall. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt würde die durchschnittliche Erdtemperatur bei etwa -15 Grad Celsius liegen (Podbregat et al. 2009, 19). Dieser natürliche Treibhauseffekt ist aufgrund menschlichen Handelns seit dem letzten Jahrhundert sehr deutlich verstärkt worden. Infolge der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas gelangt CO_2 in die Atmosphäre. Mit der Zunahme von Massentierhaltungen geht wegen der Verdauung entsprechender Tiere eine deutlich steigende Freisetzung von großen Mengen an Methan in die Atmosphäre einher, dazu kommen eine Reihe von unterschiedlichen Lachgasen aus diversen Vorgängen der chemischen Industrie und aus bestimmten Verbrennungsprozessen (Kerber 2018, 5). All diese Gase zählen zu den Treibhausgasen.

Die Konsequenzen dieser Prozesse werden in Form der Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts erkenntlich, sodass man das Resultat dieser Einwirkungen als anthropogenen Treibhauseffekt bezeichnet. Der anthropogene Treibhauseffekt ist ursächlich für die globale Erderwärmung. Auf diese Weise ist die Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche seit Beginn der industriellen Revolution um etwa ein halbes Grad Celsius gestiegen ist (Guzmann 2013, 30). Selbst wenn man ab dem heutigen Tag an weltweit den gesamten Ausstoß von Kohlenstoffdioxid stoppen würde, – ein in der Praxis vollkommen undenkbares und nicht umsetzbares Vorhaben – käme es aufgrund der verzögerten klimatischen Reaktionen zu einem weiteren Temperaturanstieg von etwa einem halben Grad Celsius (Stengel 2011, 41). Wenn dieses theoretische Gedankenspiel in die Praxis umgesetzt werden würde, gäbe es unter optimistischsten Annahmen aufgrund der Komplexität dieses Vorhabens infolge notwendiger Maßnahmen trotzdem zu einem weiteren Temperaturanstieg von 1,6 bis 2,1 Grad Celsius (Victor 2011, 165).

Darüber hinaus könnten im Falle eines entsprechenden Temperaturanstiegs diverse Prozesse den natürlichen Treibhauseffekt zusätzlich beschleunigen. So kann die primäre, durch Menschen verursachte Erwärmung, weitere Mechanismen in Gang setzten und eine sekundäre Erwärmung herbeiführen. Darunter versteht man, dass ab einer bestimmten Erhöhung der durchschnittlichen Erdtemperatur gewisse klimatische Kipppunkte erreicht werden. Infolge dessen würde es unter anderem zu einer Austrocknung des Amazonas-Regenwalds oder zum Auftauen von Permafrostböden kommen und somit weitere große Mengen von Treibhausgasen in die Atmosphäre gelangen. Ab welcher Temperaturerhöhung diese Kipppunkte erreicht werden und welches Ausmaß eine sekundäre Erwärmung haben könnte, ist nur zu spekulieren. Einige klimawissenschaftliche Studien prognostizieren das Erreichen dieser Kipppunkte jedoch bereits ab

einer Erhöhung der durchschnittlichen Erdoberflächentemperatur um 1,5 Grad Celsius (Vaks 2013, 52). Es gibt viele Szenarien, die in diesem Zusammenhang Zunahmen von Trockenheit und Dürren, einen Anstieg der Vorkommen von extremen Niederschlägen und die deutliche Abnahme von Gletschern voraussagen. Diese dienen nicht nur als Grundlage für Prognosen, sondern beschreiben teilweise einige bereits auftretende Veränderungen.

1.2 Der Anstieg des Meeresspiegels

Zu den beschriebenen Veränderungen gehört der Anstieg des Meeresspiegels. Gletscher und Eisschilde schmelzen, sodass Süßwasser in die Meere gelangt. Der seit sechstausend Jahren stagnierende Schmelzprozess wurde somit infolge des anthropogenen Treibhauseffekts wieder aufgenommen (Gonstalla 2017, 249). Seit dem Jahr 1993 wird die Entwicklung des globalen Meeresspiegels per Satellit gemessen und analysiert. Der Anstieg des Meeresspiegels wird mit etwa drei Zentimetern pro zehn Jahre bemessen (Sturm & Vogt 2011, 141). Ein gesamtes Abschmelzen des Grönlandeis würde zu einem zusätzlichen Anstieg von sieben Metern führen, ein Abschmelzen des antarktischen Eisschilds zu einem Anstieg von 57 Metern (ebd.). Neben diesen Schmelzraten und der potenziellen Verstärkungen wegen des Erreichens der Kippunkte ist ein weiterer Prozess zu nennen, der diese Entwicklungen beschleunigt. Aufgrund des bisherigen Temperaturanstiegs des Meerwassers dehnt sich dieses aus. Der entsprechende physikalische Effekt führt zu einem zusätzlichen Anstieg des Meeresspiegels von derzeit etwa einem Millimeter pro Jahr (Schacht 2014, 126). Für die deutsche Nordseeküste wurden Anstiegsraten ermittelt, die deutlich höher sind als im Durchschnitt. Der Meeresspiegel steigt hierzulande jedes Jahr aktuell um etwa 1,6 bis 1,8 Millimeter an (Brasseur et al. 2017, 78).

Der Anstieg des Meeresspiegels kann letzten Endes für die gesamte Menschheit zu einer großen Gefahr werden. Für einige Menschen, die auf Inseln nur knapp überhalb des Meeresspiegels leben, ist dies bereits heute der Fall. Schon im Jahr 2005 gab es erste Umsiedlungen auf höher gelegene Gebiete als Reaktionen auf den Meeresspiegelanstieg. Auf der pazifischen Insel Vanuatu wurden diese wegen der immer geringer werdenden Abstände zwischen Sturmfluten notwendig. Die Vereinten Nationen betrachten dieses vor über zehn Jahren stattgefundene Vorgehen als die erste Umsiedlungsmaßnahme, die unmittelbar auf die globale Erwärmung zurückzuführen ist (WBGU 2006, 48). Eine Studie der asiatischen Entwicklungsbank sieht wegen des Meeresspiegelanstiegs für 400 Millionen BewohnerInnen asiatischer Städte eine unmittelbare Bedrohung und schätzt zudem, dass diese Zahl innerhalb der nächsten dreißig Jahre global auf über eine Milliarde ansteigen wird (Brasseur et al. 2017, 78). Wegen des Meeresspiegelanstiegs und dem zunehmenden Risiko von Wetterextremen, wie besonders starken Sturmfluten, gibt es mittlerweile auch in Deutschland etliche Forderungen, die auf verschiedene Maßnahmen eines Ausbaus und einer generellen Neuentwicklung des Küstenschutzes fokussieren (Boesecke 2005, 2).

Neben diesen unmittelbaren Gefahren gibt es Folgewirkungen des Meeresspiegelanstiegs, die nur im geringen Maße mit Hilfe eines Ausbaus des Küstenschutzes bewerkstelligt werden können. So wird mit dem Anstieg des Meeresspiegels das darüber liegende Grundwasser ansteigen. Dies birgt ab einer gewissen Höhe des Anstiegs das Risiko einer Bodenvernässung, welche wiederum eine ganze Reihe von verschiedenen Konsequenzen zur Folge haben kann. Dazu gehören unter anderem eine Gefährdung der allgemeinen Süßwasserversorgung sowie negative Auswirkungen auf die Stabilität von Fundamenten und auf die generelle Funktionstüchtigkeit von Untergrundsystemen, wie zum Beispiel die von U-Bahnen (Simonis 2017, 420). Somit könnten aufgrund des Meeresspiegelanstiegs in Zukunft direkt oder indirekt viele Bereiche des öffentlichen Lebens sehr stark eingeschränkt werden – ohne an dieser Stelle rein spekulativ gar apokalyptische Szenarien ausmalen zu wollen.

1.3 Die Versauerung der Meere

Der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre hat nicht nur in Form des Meeresspiegelanstiegs einen Einfluss auf die Meere. Die Meere absorbieren etwa ein Viertel des Kohlenstoffdioxids, das aufgrund menschlicher Aktivitäten in die Atmosphäre gelangt (Latif 2016, 28). Ohne diese Aufnahme würde die globale Erwärmung bereits heute in einem fortgeschrittenen Stadium sein als sie es bereits ist. Es wäre jedoch ein Trugschluss, das Absorbieren von Kohlenstoffdioxid durch die Meere als positiven Prozess zu beurteilen. Die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid führt zu einer Senkung des pH-Werts, es kommt daher zunehmend zu einer Versauerung der Meere. Wissenschaftlich belegt ist der pH-Wert der Meere seit Beginn der industriellen Revolution bisher um 0,1 Einheiten gesunken (Podbregar et al. 2009, 97).

Diese Entwicklung hat weitreichende Konsequenzen für viele Meereslebewesen. Calciumcarbonat ist ein wichtiger Baustein für eine Vielzahl von im Meer lebenden Organismen. Korallen, Muscheln, Schnecken oder Seeigel benötigen dieses zum Aufbau ihres Skeletts. Aufgrund der Abnahme des pH-Werts nimmt das im Wasser für entsprechende Tierarten verfügbare Calciumcarbonat wegen der Verschiebung des Sättigungshorizonts von Kalzit und Aragonit, Bestandteilen von Calciumcarbonat, ab (ebd.). Es besteht daher ein großes Risiko, dass die Schalen benannter Tiere dünner werden oder es zu Fehlbildungen kommt. Dies könnte wegen der Beziehungen innerhalb der Nahrungsnetze gewaltige, grundlegende Folgen für die aquatischen Ökosysteme haben. Auch bei Kalkalgen konnte als Konsequenz der Versauerung der Meere eine abnehmende Bildungsfähigkeit der Schalen nachgewiesen werden (Riebesell et al. 2000, 364ff).

Falls der bisherige Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre weiterhin anhält – wovon nach aktuellen Studien auszugehen ist –, wird der pH-Wert der Ozeane bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Durchschnitt um weitere 0,3 bis 0,4 Einheiten sinken und somit das Meer im Vergleich zu heute

nochmals um bis zu 150% saurer werden (Latif 2016, 29). Die skizzierten Auswirkungen würden sich daher sehr drastisch verstärken und auf verschiedenste Weise einen immensen Einfluss auf die jeweiligen Ökosysteme nehmen (Schuhmacher 2013, 589).

1.4 Die Erwärmung der Meere

Zur Betrachtung des tatsächlichen Temperaturanstiegs in den Meeren ist eine differenzierte Herangehensweise notwendig. Viele KlimaskeptikerInnen argumentieren häufig damit, dass die durchschnittliche Temperatur der Meere in den letzten Jahrzehnten kaum gestiegen sei. Mit dieser Argumentationsweise wird sich nicht etwa auf unwissenschaftliche Daten berufen, sondern auf wissenschaftlich erwiesene Tatsachen gestützt. Zu erklären ist der sehr geringe Anstieg der durchschnittlichen Meerestemperatur damit, dass die von den Meeren aufgenommene Sonnenenergie vor allem an der Meeresoberfläche Einfluss hat. Im Jahr 2016 war die Lufttemperatur unmittelbar über der Meeresoberfläche um 0,75 Grad Celsius höher als im Durchschnitt des vorherigen Jahrhunderts (Kerber 2018, 10). Daher ist dieser Wert als Indikator für einen Temperaturanstieg der Meere infolge der globalen Erwärmung anzuführen und widerlegt somit die genannten Annahmen entsprechender Personen. Neben der bereits erläuterten, daraus resultierenden Ausdehnung des Meereswassers und die damit verbundene Verstärkung des Meeresspiegelanstiegs, gibt es eine ganze Reihe weiterer direkter negativen Folgen für die Ökosysteme.

In einer über zwölf Jahre durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchung konnte festgestellt werden, dass sich die Artenzusammensetzung in der Nordsee wegen der globalen Erwärmung bereits verändert hat. Vor allem in flachen Bereichen der Meere – die eben aufgrund geringer Tiefe besonders von dem Temperaturanstieg betroffen sind – gibt es diverse Veränderungen. Es sind in der Nordsee zunehmend Fischarten aus wärmeren Gewässern vorzufinden, die dort wegen milder Winter überleben können. Der rote Knurrhahn kam zu Beginn der Untersuchung an entsprechenden Stellen sehr selten vor, nun ist er dort regelmäßig vertreten (Podbregar et al. 2009, 89f). Anderen Fischarten, wie zum Beispiel dem für die Fischerei sehr wichtigen Kabeljau, wurde das Wasser an flachen Stellen zu warm, weshalb er in tiefere Meeresregionen ausgewichen ist (ebd.). Auch der starke Rückgang der Miesmuschel ist teilweise mit der globalen Erwärmung zu erklären. Erst die milden Winter ermöglichten es invasiven Arten, die Miesmuscheln überlegen sind, dauerhaft in der Nordsee zurechtzukommen (ebd.). Miesmuscheln haben für viele Vogelarten, darunter unter anderem für im Wattenmeer rastende Zugvögel, eine zentrale Bedeutung als Nahrungsquelle. Die Schalen der pazifischen Auster, die von der Erwärmung der Nordsee profitiert und entsprechend häufig in der Nordsee bzw. im Wattenmeer vorkommt, sind deutlich dicker und spitzer als die der Miesmuschel. Daher kommt es im Zuge dieser Entwicklung wegen eines geringeren Nahrungsangebots für viele Vögel, welche nicht zum Knacken der Schalen

von pazifischen Austern fähig sind, zu weiteren Konsequenzen, die globale Auswirkungen haben können.

Verdeutlicht wird die Reichweite dieser Konsequenzen mit der Tatsache, dass die Nordsee kein geschlossenes System darstellt, da sie mit dem Atlantik in Verbindung steht. Somit können eigentlich gebietsfremde Arten beispielsweise mit Hilfe von Meeresströmungen – auch auf Plastikmüll – in die immer wärmer werdende Nordsee gelangen und dort überleben. Vor Helgoland wurden in den letzten Jahren über 80 neue Zoobenthos-Arten nachgewiesen, die größtenteils in wärmeren Regionen heimisch sind (Essl & Rabitsch 2013, 219). Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, dass es einigen Arten in der Nordsee zu warm wird und daher ihr Überleben gefährdet werden kann. Seit 1962 ist die mittlere Wassertemperatur an der Helgoland Reede um 1,7 Grad Celsius gestiegen (ebd.). In den Sommermonaten ist daher zunehmend damit zu rechnen, dass es Tage geben wird, an denen das Nordseewasser für heimische Tier- und Pflanzenarten zu warm sein wird.

In Zukunft könnte sich die globale Erwärmung auch als Resultat menschlicher Reaktionen auf die Meere auswirken. Mit der zunehmenden Gewinnung von erneuerbaren Energien aus Offshore-Windparks – wie es aktuell im großen Stil vor Borkum getan wird – werden sehr viele künstliche Hartsubstrate in die Nordsee eingebracht. Auf diese Weise werden vor allem für nichtheimische Arten neue Habitate geschaffen (von Storch et al. 2018, 93).

2 Umsetzungsmöglichkeiten in die schulische Praxis

Die in diesem Beitrag dargestellte Thematik kann in der Schule in verschiedenen Jahrgangsstufen unter unterschiedlichen Gesichtspunkten und auf entsprechend variierenden Anforderungsniveaus aufgegriffen werden. Im Allgemeinen ist es sinnvoll, dies im Kontext von ökologischen Themen umzusetzen. So kann etwa der Einfluss menschlichen Handelns auf (aquatische) Ökosysteme dargelegt werden. In Bezug auf den Kernlehrplan in Nordrhein-Westfalen ist dies beispielsweise im Inhaltsfeld „Energiefluss und Stoffkreisläufe“ (Kernlehrplan 2008, 37) in den Jahrgangsstufen 7/9 möglich.

Auch in der Sekundarstufe II lassen sich Anknüpfungspunkte erkennen. Im Inhaltsfeld „Ökologie“ (Kernlehrplan 2013, 32) werden die bereits in der Sekundarstufe I thematisierten Inhalte erneut aufgegriffen. Innerhalb des Basiskonzepts System können diverse Aspekte der Thematik auf den Bereich „Ökosystem“ (ebd.) angewendet werden. Gerade der inhaltliche Schwerpunkt „Mensch und Ökosysteme“ (ebd.) bietet die Gelegenheit, die erfolgten menschlichen Eingriffe zu einem unterrichtlichen Gegenstand ausgestalten zu können.

Im Folgenden werden die sich im Anhang befindlichen Unterrichtsmaterialien in ihren Grundzügen erläutert und potenzielle Lernziele skizziert.

2.1 Was ist eigentlich „der“ Treibhauseffekt?

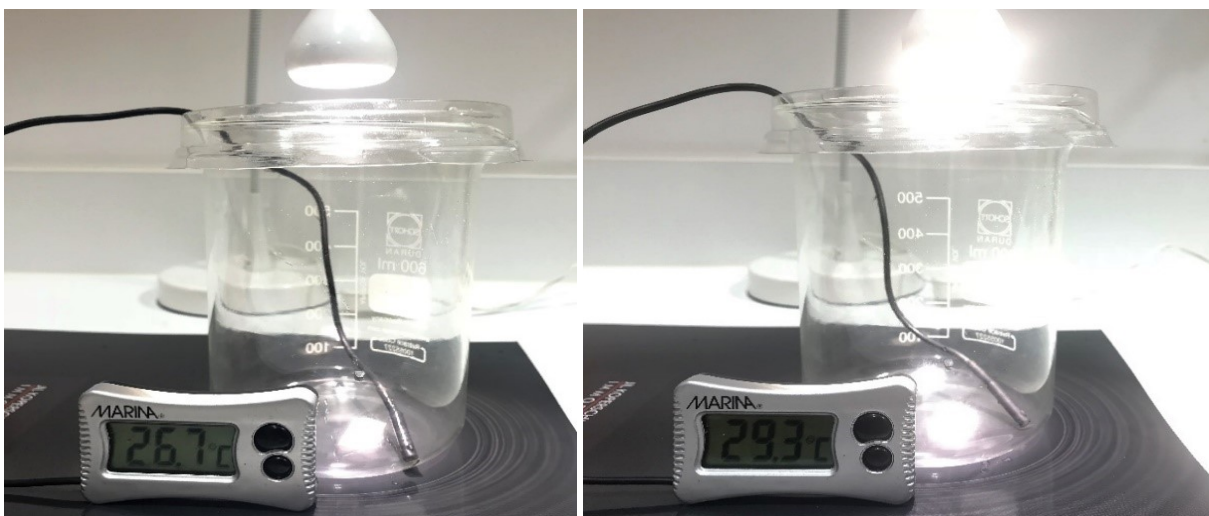
Dieses Arbeitsblatt bietet die Möglichkeit mit Hilfe von zwei Experimenten sowohl den natürlichen als auch den anthropogenen Treibhauseffekt sowie ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede unter der Berücksichtigung verschiedener Elemente des naturwissenschaftlichen Arbeitens nachvollziehen zu können. Im ersten Experiment wird der natürliche Treibhauseffekt illustriert (Abbildung 1 und 2).



Abbildungen 1 und 2: Die Temperatur ist nach einiger Zeit unter der Schüssel (symbolisch für die Atmosphäre) höher als in der Umgebung. Fotos Till Schmäing

Die SchülerInnen sollen im Rahmen der weiterführenden Aufgaben ihre Versuchsergebnisse grafisch darstellen sowie das Modell tiefgründig nachvollziehen und in einem ersten Schritt auf die globale Situation übertragen.

Das zweite Experiment illustriert den Unterschied zwischen dem im ersten Experiment erarbeiteten natürlichen Treibhauseffekt (Abbildung 3) und dem Anthropogenen (Abbildung 4).



Abbildungen 3 und 4: Die Temperatur ist im Becherglas mit der Reaktion (symbolisch für Treibhausgase in der Atmosphäre) höher als in dem ohne Reaktion. Fotos Till Schmäing

Nach der Durchführung soll dieses Experiment ähnlich wie das Vorherige erarbeitet und somit erste Schlussfolgerungen gezogen werden. Daher ist es auch möglich, dass beide Experimente arbeitsteilig durchgeführt werden und im Anschluss eine gemeinsame Präsentations-/ Sicherungsphase erfolgt. Die nachfolgenden Aufgaben, welche sich auf einen Vergleich und eine Auswertung der Experimente richten, können auf Grundlage beider Experimente dann wiederum sowohl arbeitsteilig als auch gemeinsam bearbeitet werden.

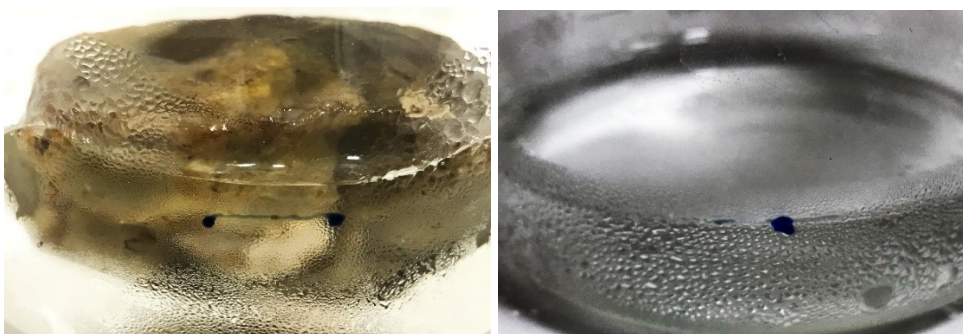
Der Vergleich der Treibhauseffekte kann unter Zunahme verschiedener Medien erfolgen. Dies sichert auf der einen Seite ein tiefgründigeres Verständnis. Auf der anderen Seite wird mit diesem Vorgehen einer nicht erfolgreichen Versuchsdurchführung entgegengewirkt. Die Ergebnisse können nach individuellem Belieben festgehalten werden. Dabei ist es unter anderem zentral, den natürlichen Treibhauseffekt als Lebensgrundlage und den anthropogenen Treibhauseffekt als Ursache für die globale Erwärmung herauszustellen. Abschließend soll als Resümee ein Bezug zur Eingangsfrage genommen werden.

2.2 Die Folgen der globalen Erwärmung I: Der Anstieg des Meeresspiegels

Erneut dient ein Experiment dazu, um in die Thematik einzuführen (Abbildung 5-7).



Abbildung 5: Die Wasserstände zu Beginn des Experiments. Foto Till Schmäing



Abbildungen 6 und 7: Der Wasserstand im Glas mit dem Stein ist nach dem Schmelzen des Eises gestiegen, der im anderen unverändert geblieben. Fotos Till Schmäing

Nach der Durchführung des Experiments sollen die Beobachtungen festgehalten und daraus erste Vermutungen zur Erklärung abgeleitet werden. Aufgrund der Komplexität des Experiments werden für die Auswertung einige fachliche Hinweise gegeben, die für die Erarbeitung genutzt werden können. Letzen Endes soll von den SchülerInnen in Anlehnung an das Experiment herausgestellt werden, dass nur das geschmolzene Eis einen Einfluss auf den Meeresspiegel hat, welches sich auf Gebirgen befindet. Frei im Wasser treibendes Eis lässt im Gegensatz dazu den Meeresspiegel nicht ansteigen.

Die abschließende Rechercheaufgabe ermöglicht die Darstellung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie verschiedener Fallbeispiele. Mit dieser Vorgehensweise kann die Thematik besonders anschaulich vertieft und ihre Bedeutung für die Menschheit dargestellt werden. Die entsprechenden Ergebnisse können beispielsweise im Rahmen einer Gruppenarbeit präsentiert werden.

2.3 Die Folgen der globalen Erwärmung II: Die Versauerung der Meere

Mit Hilfe des Experiments (Abbildungen 8 und 9) können die SchülerInnen eigenständig anhand eines konkreten Beispiels die Auswirkung der Versauerung der Meere auf praktische Weise erarbeiten.



Abbildungen 8 und 9: Die zerkleinerten Muschelschalen werden vom Essig aufgelöst, sodass sich dieser leicht milchig färbt. Fotos Till Schmäing

Die SchülerInnen sollen unter Zunahme ihrer im Verlauf des Experiments getätigten Beobachtungen erste Schlussfolgerungen entwickeln und die Einwirkungen des Essigs analysieren. Mit unterstützenden Informationen sollen diese Ergebnisse auf einen globalen Kontext bezogen werden. Dazu bieten sich Bezüge zu anderen meeresbiologischen, aber auch zu allgemeinen ökologischen Inhalten an. Erneut ist an dieser Stelle eine Rechercheaufgabe möglich, die vertiefte

Zusammenhänge erschließt und wiederum die Resultate menschlichen Eingreifens in funktionierende Ökosysteme erläutert.

3 Literaturverzeichnis

- Boesecke, Thomas (2005): Vorsorglicher Küstenschutz und integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) an der deutschen Ostseeküste. Strategien, Vorgaben und Defizite aus Sicht des Raumordnungsrechts, des Naturschutz- und europäischen Habitatschutzrechts sowie des Rechts auf Wasserwirtschaft. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brasseur, Guy; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag.
- Essel, Franz & Rabitsch, Wolfgang (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.
- Gonstalla, Esther (2017): Das Ozean Buch. Über die Bedrohung der Meere. München: oekom Verlag.
- Guzmann, Andrew (2013): Overheated. The Human Cost of Climate Change. Oxford: University Press.
- Kerber, Gabriele (2018): Klimawandel hautnah. Wenn das Meer kommt – wie Inselbewohner mit den Veränderungen umgehen. Berlin: Springer-Verlag.
- Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen Biologie (2008). Frechen: Ritterbach.
- Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen Biologie (2013). Frechen: Ritterbach.
- Latif, Mojib (2016): Mayday! Die Ozeane im Klimawandel. In: oekom e.V. - Verein für ökologische Kommunikation (Hrsg.): Meeresschutz. Von der Rettung des blauen Planeten. München: oekom Verlag.
- Podbregar, Nadja; Schwanke, Karsten & Frater, Harald (2009): Wetter Klima Klimawandel. Wissen für eine Welt im Umbruch. Berlin & Heidelberg: Springer- Verlag.
- Riebesell, Ulf; Zonderva, Ingrid; Rost, Björn; Tortell, Philippe D.; Zeebe, Richard E. & Morel, Francois M. (2000): Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. In: Nature.
- Schacht, Rüdiger (2014): Wann bekommen die Küstenbewohner denn nun nasse Füße? Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Schuhmacher, Helmut (2013): Einblick in einen künftigen versauerten Ozean. In: Rehfeld, Klaus: Naturwissenschaftliche Rundschau. Jahresregister, 66. Jahrgang 2013. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Stengel, Oliver (2011): Suffizienz. Die Konsumgesellschaft in der ökologischen Krise. München: Oekom Verlag.

-
- Simonis, Georg (2017): Handbuch Globale Klimapolitik. Paderborn: Ferdinand Schöningh Verlag für Wissenschaft.
- Sturm, Bodo & Vogt, Carsten (2011): Umweltökonomik. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag.
- Vaks, Anton (2013): Speleothems reveal 500.000 year history of Siberian permafrost. Oxford: University Press.
- Von Storch, Hans; Meinke, Insa & Claußen, Martin (2018): Hamburger Klimabericht. Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag.
- Victor, David (2011): Global Warming Gridlock. Cambridge: University Press.
- WGBU (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung globale Umweltveränderungen.

Was ist eigentlich „der“ Treibhauseffekt?

1. Führe das folgende Experiment durch.

Materialien:

Lampe, zwei Thermometer mit Außenmessfühlern, Glasschüssel, schwarze Pappe, Stoppuhr

Durchführung:

1. Lege die beiden Außenmessfühler der Thermometer mit etwas Abstand nebeneinander auf die schwarze Pappe.
2. Befestige die Lampe über die Pappe und schalt sie ein.
3. Schalte die beiden Thermometer ein und warte bis sie dieselbe Temperatur anzeigen.
4. Bedecke eins der beiden Außenmessfühler eines Thermometers mit der Glasschüssel. Das andere Thermometer bleibt unbedeckt.
5. Notiere in einer Tabelle jede 30 Sekunden die jeweilig gemessenen Temperaturen.

2. Stelle Deine Ergebnisse in einem Diagramm dar. Dabei kannst Du die während des Versuchs erstellte Tabelle nutzen.

3. Skizziere den Versuchsaufbau.

4. Erläutere, was die einzelnen Bestandteile des Modells (Lampe, Pappe, Glasschüssel) darstellen.

5. Dieses Experiment hat den natürlichen Treibhauseffekt verdeutlicht. Vermute, was man unter diesem versteht und welche Bedeutung er für das menschliche Leben besitzt.

6. Führe das folgende Experiment durch.

Materialien:

Lampe, zwei Thermometer mit Außenmessfühlern, zwei Gefäße mit Deckel, Stoppuhr

Chemikalien:

Backpulver, Essig

Durchführung:

1. Stelle die Gefäße nebeneinander unter die Lampe und lege die Außenmessfühler der Thermometer in diese.
2. Schalte die beiden Thermometer ein und warte bis sie dieselbe Temperatur anzeigen.
3. Gib einen Esslöffel Backpulver in ein Gefäß und füge etwas Essig hinzu (Achtung, Schaum!). Verschließe beide Gefäße mit einem Deckel.
4. Notiere in einer Tabelle jede 30 Sekunden die jeweiligen Temperaturen.

7. Bearbeite erneut die Aufgaben 2.- 4. Dabei kannst Du das bereits erstellte Diagramm und die Skizze ergänzen.

8. Vergleiche die beiden Experimente: Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Hinblick auf den Versuchsaufbau und Deine Ergebnisse kannst Du feststellen?
9. Dieses Experiment hat den anthropogenen (= vom Menschen verursachten) Treibhauseffekt dargestellt. Vermute, - auch unter Bezugnahme der Aufgabe 5, was man unter diesem versteht und welche Auswirkungen er auf unsere Erde nimmt.
10. Recherchiere im Internet oder mit Hilfe anderer Medien nach dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt. Vergleiche beide Prozesse mit Hilfe einer tabellarischen Übersicht oder fertige eine Zeichnung (Beschriftung nicht vergessen!) an, welche beide Treibhauseffekte erklärt.
11. Erläutere die jeweiligen Auswirkungen beider Prozesse auf Tiere und Menschen.
12. Beantworte die Frage aus der Überschrift dieses Arbeitsblattes.

Die Folgen der globalen Erwärmung I: Der Anstieg des Meeresspiegels

1. Führe das folgende Experiment durch.

Materialien:

Zwei Bechergläser, Stein, Lampe, abwaschbarer Folienstift

Chemikalien:

Wasser (flüssig und in Form von Eiswürfeln)

Durchführung:

1. Lege den Stein in eins der beiden Bechergläser
2. Nimm einige Eiswürfel und leg sie auf den Stein. Fülle Wasser in das Becherglas. Achte darauf, dass der Stein nicht vollständig mit Wasser bedeckt ist.
3. Lege dieselbe Menge an Eiswürfeln in das andere Becherglas. Fülle Wasser in das Becherglas. Achte darauf, dass die Eiswürfel zwar im Wasser schwimmen, aber nicht aus dem Becherglas herausragen.
4. Markiere jeweils den Wasserstand mit einem abwaschbaren Folienstift.
5. Stell die Lampe über beide Bechergläser und schalte sie ein.
6. Warte eine halbe Stunde ab. Beobachte in dieser Zeit, was passiert.

2. Notiere Deine Beobachtungen. Nenne dabei auch den jeweiligen Zeitpunkt, an dem Du die einzelnen Entwicklungen beobachten konntest.

3. Beschreibe die Veränderungen der Wasserstände. Stelle Vermutungen auf, wie es zu diesen Entwicklungen gekommen ist.

4. Die mit Wasser gefüllten Bechergläser symbolisierten in beiden Fällen das Meer. Der mit Eiswürfeln bedeckte Stein stellte ein mit Eis bedecktes Gebirge, also beispielsweise einen Gletscher, dar. Erläutere in diesem Zusammenhang den Einfluss und die Bedeutung der Lampe.

5. Übertrage das Modell auf die globale Situation. Welche Auswirkungen hat die Erderwärmung auf den Meeresspiegel? Beziehe Dich in Deiner Antwort auf die Entwicklung in beiden Bechergläsern.

6. Recherchiere im Internet oder mit Hilfe anderer Medien nach aktuellen Ereignissen rund um den Meeresspiegelanstieg. Du kannst beispielsweise aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse oder ein Fallbeispiel darstellen. Welche Länder sind bereits von dem Anstieg des Meeresspiegels betroffen, gehört Deutschland dazu?

Die Folgen der globalen Erwärmung II: Die Versauerung der Meere

1. Führe das folgende Experiment durch.

Materialien:

Becherglas, Mörser, Muschelschale

Chemikalien:

Wasser, Essig

Durchführung:

1. Zerkleinere die Muschelschale mit Hilfe des Mörsers.
2. Lege die zerkleinerte Muschelschale in das Becherglas und füge etwas Wasser hinzu.
3. Gib etwa drei Esslöffel Essig in das Becherglas.
4. Schwenke das Becherglas und beobachte, was passiert.

2. Beschreibe, was sich während des Experiments verändert hat.

3. Interpretiere Deine Ergebnisse. Welchen Einfluss hatte der Essig auf die Muschelschale?

Die Meere nehmen etwa ein Viertel des Kohlenstoffdioxids, das in die Atmosphäre gelangt, auf. Diese Aufnahme führt zu einer Senkung des pH-Werts, die Meere werden somit „saurer“.

4. Erörtere vor diesem Hintergrund Deine Beobachtungen.

5. Leite unter Berücksichtigung dieses Zusammenhangs allgemeine Konsequenzen für den Lebensraum Meer ab. Zu welchen Entwicklungen könnte es kommen? Ist es möglich, dass selbst der Mensch von den Auswirkungen betroffen sein wird?