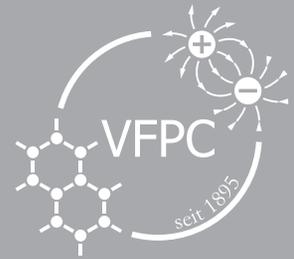


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Klimawandel – Fakten und Mythen

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729) Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber:

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
 Adr.: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
 Web: <https://www.pluslucis.org>
 Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:

Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
 Mag. Sarah Zloklkovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Thomas Schubatzky
 Fachbereich Physikdidaktik, Universität Graz
 E-Mail: thomas.schubatzky@uni-graz.at

Gerhard Rath
 Fachbereich Physikdidaktik, Universität Graz
 E-Mail: gerhard.rath@uni-graz.at

HerausgeberInnenteam:

Univ.-Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
 Universität Graz, Physikdidaktik
 E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
 Universität Wien, Physikdidaktik
 E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
 Universität Wien, Chemiedidaktik
 E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at

Univ.-Prof. Dr. Thomas Wilhelm
 Universität Frankfurt, Physikdidaktik
 E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Bezugshinweise:

Das Abonnement der Zeitschrift ist für Vereinsmitglieder im Mitgliedsbeitrag inkludiert.
 Ein institutionelles Abonnement (z. B. für Bibliotheken) ist zum Bezugspreis von 40 Euro im Jahr möglich.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und ChemielehrerInnen, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Titelbild (Umschlag):

Warming stripes (global, WMO, 1850-2018) – Climate Lab Book (Ed Hawkins)
 CC BY-SA 4.0

Inhalt

| | |
|--|----|
| Das Thema Klimawandel im Physikunterricht | 4 |
| <i>Thomas Schubatzky, Rainer Wackermann, Carina Wöhlke & Claudia Haagen-Schützenhöfer</i> | |
| Die lange Geschichte des menschengemachten Klimawandels – Die Klimakrise ist in der Politik schon seit 56 Jahren bekannt..... | 9 |
| <i>Rainer Wackermann & Thomas Schubatzky</i> | |
| Cranky Uncle: a game building resilience against climate misinformation..... | 13 |
| <i>John Cook</i> | |
| Die zehn häufigsten Klimamythen und wie man ihnen in der Schule begegnen kann | 17 |
| <i>Thomas Schubatzky & Rainer Wackermann</i> | |
| Eine experimentelle Unterrichtseinheit zum Treibhauseffekt..... | 20 |
| <i>Lisa Stinken-Rösner</i> | |
| Wetter und Klima unter die Lupe genommen | 25 |
| <i>Ingrid Krumphals, Maria Teresa Schwarz & Rosmarie de Wit</i> | |
| Nachhaltigkeit berechnen – Die CO ₂ -Bilanz von PET- und Glasflaschen im einfachen Modell mit Lego®-Steinen ermitteln und vergleichen | 30 |
| <i>Julia J. J. Guggi & Philipp Spitzer</i> | |
| Der Klimawandel: verstehen und handeln..... | 33 |
| <i>Cecilia Scorza, Harald Lesch & Moritz Strähle</i> | |
| Rezension von „Mats Möwe auf großer Klimamission“ | 35 |
| <i>Thomas Plotz</i> | |

Editorial

Liebe Leser*innen,

der Klimawandel ist längst ein omnipräsentes Thema. Egal ob bei der Grillfeier mit der Verwandtschaft, in den Tagesnachrichten oder eben auch in der Schule, etwa wenn Schüler*innen von der Teilnahme an Fridays for Future Demonstrationen berichten. Meinungen, auf die man während Diskussionen rund um das Thema Klimawandel trifft, können dabei sehr unterschiedlich sein. Denn obwohl in den Klimawissenschaften seit mehreren Jahrzehnten klar ist, dass sich das Klima verändert und wir Menschen dafür die Hauptverantwortung tragen, wird manchmal anderes behauptet. Das Thema Klimawandel zu unterrichten bedeutet also auch immer, sich mit der zwar nicht wissenschaftlichen, aber dennoch gesellschaftlichen Kontroverse auseinanderzusetzen. Diesen Punkt möchten wir anhand dieses Themenheftes „Klimawandel – Fakten und Mythen“ aufgreifen und Anknüpfungspunkte für den Unterricht liefern.

Im ersten Beitrag geben Thomas Schubatzky, Rainer Wacker- mann, Carina Wöhlke und Claudia Haagen-Schützenhöfer einen Überblick über aus ihrer Sicht zentrale fachliche Inhalte und Konzepte, die notwendig sind, um den Klimawandel aus physikalischer Sicht verstehen zu können. Dieser Überblicks- artikel bettet außerdem die weiteren Beiträge in diesem Heft auch fachlich-inhaltlich ein. Der zweite Beitrag in diesem Heft, „Die Geschichte des Klimawandels“, wirft einen historisch- narrativen Blick auf die Wahrnehmung und Darstellung des Klimawandels, auch in der Öffentlichkeit.

Der dritte und vierte Artikel in diesem Heft widmen sich dem Umgang mit „Klimamythen“ – also Behauptungen über unser Klima, die eindeutig widerlegt werden können, sich aber dennoch hartnäckig halten. Ganz besonders freut es uns dabei, dass wir John Cook dafür begeistern konnten, über das von ihm entwickelte Smartphone-Spiel „cranky uncle mobile game“ zu berichten. John Cook ist Hauptautor einer der zentralen Studien mit mittlerweile über 1600 Zitationen, die den Konsens rund um das Thema Klimawandel untersucht haben. Das Ergebnis damals war übrigens, dass 97% aller Klimawissenschaftler*innen zum Schluss gekommen sind, dass der aktuelle Klimawandel stattfindet und von uns Menschen hauptverursacht ist. Im Spiel schlüpft man aktiv in die Rolle des „cranky uncle“ oder auch „grantigen Onkels“, der mit Klimamythen um sich wirft. Dabei lernt man ganz nebenbei, diese kritisch zu hinterfragen und zu widerlegen. Wie der Beitrag



Thomas Schubatzky



Gerhard Rath

von Cook ist auch das Smartphone-Spiel in englischer Sprache – es wird jedoch fieberhaft an einer deutschen Übersetzung, die schließlich auch im Unterricht eingesetzt werden kann, gearbeitet.

Anhand des Spiels kann man sich „aktiv“ auf zukünftige Diskussionen rund um Klimamythen vorbereiten – doch wie begegnet man Personen, die felsenfest daran festhalten? Diesem Thema widmet sich der Beitrag „Die 10 häufigsten Klimamythen und wie man ihnen in der Schule begegnen kann“. Darin werden einerseits gängige Klimamythen, aber auch Strategien zum Umgang damit beschrieben.

Die weiteren Beiträge in diesem Heft widmen sich unterrichts- praktischen Ansätzen zur Thematisierung der „Fakten“ rund um den Klimawandel. Lisa Stinken-Rösner beschreibt dazu eine Experimentierserie unter Nutzung von Wärmebildkameras, um Aspekte des Treibhauseffekts aufzugreifen. Ingrid Krumphals, Maria Schwarz und Rosmarie deWit präsentieren eine Unterrichtssequenz, anhand derer der Unterschied zwischen Wetter und Klima erarbeitet werden kann. Julia Guggi und Philipp Spitzer thematisieren in ihrem Beitrag das sogenannte „Life-Cycle-Assessment“ von PET- und Glasflaschen im Spiegel von Nachhaltigkeitsfragen. Cecilia Scorza, Harald Lesch und Moritz Strähle waren bereits im Heft „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ mit einem Artikel rund um den Klimawandel vertreten. In diesem Heft berichten sie über das Lehrkräftenetzwerk rund um ihre entwickelten Materialien und wie diese im Unterricht genutzt werden können.

Wir bedanken uns bei den Autor*innen für die Beiträge und hoffen, dass auch für Sie etwas Interessantes und Brauchbares dabei ist, ob für die nächste Grillfeier oder für Ihren Unterricht!

Thomas Schubatzky & Gerhard Rath

Das Thema Klimawandel im Physikunterricht

Zentrale fachliche Inhalte, Konzepte und Vorstellungen

Thomas Schubatzky, Rainer Wackermann, Carina Wöhlke & Claudia Haagen-Schützenhöfer

Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar. Eine der größten Herausforderungen deshalb, weil der Klimawandel alle Bereiche unserer Gesellschaft betrifft und durchdringt. Im österreichischen Sachstandsbericht des „Austrian Panel on Climate Change (APCC)“ etwa wird festgehalten, dass der Klimawandel Auswirkungen auf Ökosysteme, wie zum Beispiel österreichische Wälder, mit sich bringt [1]. Aber auch der Winter- und Städtetourismus ist von Auswirkungen des Klimawandels betroffen, etwa durch eine verringerte Schneesicherheit oder durch die Zunahme an Hitzetagen, letztere vor allem im städtischen Bereich. Nicht zuletzt ist der Klimawandel auch eine soziale Frage, denn gerade sozial schwächere Bevölkerungsgruppen sind im Allgemeinen den Folgen des Klimawandels stärker ausgesetzt [1]. Schüler*innen werden demnach in ihrem späteren Leben mit dem Klimawandel und vor allem mit dessen direkten Auswirkungen in Kontakt kommen, unabhängig davon, welchen Lebensweg sie auch einschlagen und wo sie dieser geographisch gesehen hinbringt, der aktuellste IPCC Sachstandsbericht vom August 2021 ist hier eindeutig.

Ein zentraler Auftrag von Physikunterricht ist es, junge Menschen auf ihr späteres Leben vorzubereiten, ihnen eine naturwissenschaftliche Sicht auf Probleme wie den Klimawandel zu ermöglichen. Daher liegt es an uns Physiklehrkräften, Klimawandel im Physikunterricht aufzugreifen und zu thematisieren, zumal die naturwissenschaftlichen Grundlagen, die für ein Verständnis des Klimawandels nötig sind, auf physikalischen Prinzipien beruhen, die schon lange Zeit bekannt sind (siehe Wackermann & Schubatzky, dieses Heft).

Klar ist, dass ein basales Wissen über die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels nicht ausreicht, um komplexe Auswirkungen des Klimawandels interpretieren zu können, oder einzelne Handlungsoptionen sinnstiftend abwägen zu können. Ein grundlegendes Verständnis hilft Jugendlichen jedoch dabei, diese Herausforderungen besser zu bewältigen. In diesem Beitrag beschreiben wir daher, welche naturwissenschaftlichen Konzepte und Inhalte wir als Voraussetzung für ein Verständnis des Klimawandels betrachten und zeigen mögliche Wege zur Elementarisierung dieser Konzepte und Inhalte für den Unterricht auf. Damit verbunden beschreiben wir auch typische Vorstellungen von Schüler*innen, an die im Unterricht angeknüpft werden soll.

1. Der Klimawandel in „zehn Worten“

Forschung zur Klimawandelkommunikation setzt sich bereits seit mehreren Jahrzehnten mit der Fragestellung auseinander, wie das Thema Klimawandel auf informierte Art und Weise einer breiten Bevölkerung nähergebracht werden kann [2]. Dabei haben sich fünf zentrale Ideen herauskristallisiert, die sich (zumindest in Englisch) in zehn Worten zusammenfassen lassen:

1. It's real (Der Klimawandel ist real)
2. It's us (Wir Menschen sind Hauptverursacher des aktuellen Klimawandels)
3. It's bad (Global gesehen überwiegen negative Auswirkungen des Klimawandels bei weitem)
4. Experts Agree (Klimawissenschaftler*innen sind sich einig über den anthropogenen Klimawandel)
5. There's hope (Es gibt Hoffnung)

Diese fünf zentralen Ideen werden oft auch als Metakognitionen zum Klimawandel bezeichnet. Lernen über den Klimawandel bedeutet sich anhand dieser Metakognitionen mit Beispielen, Ideen oder naturwissenschaftlichen Prinzipien auseinanderzusetzen, die diese fünf zentralen Ideen stützen. Gleichsam bilden diese zentralen Ideen auch ein gutes Grundgerüst für Unterricht zu diesem Thema. Die Beiträge in diesem Heft, aber insbesondere dieser einführende Artikel, fokussieren dabei auf die Ideen 1, 2 und 4.

Um diese zentralen Ideen im Physikunterricht oder im naturwissenschaftlichen Unterricht näher beleuchten zu können, benötigt es ein grundlegendes Verständnis bestimmter naturwissenschaftlicher Konzepte, Inhalte und Modelle. Diese beschreiben wir im nächsten Abschnitt. Werden diese Konzepte, Inhalte und Modelle in anderen Beiträgen dieses Themenheftes aufgegriffen, verweisen wir auf diese.

2. Zentrale Konzepte und Inhalte für ein Klimaverständnis aus physikalischer Sicht

Der Klimawandel stellt ein interdisziplinäres Thema dar, welches von unterschiedlichen Seiten beleuchtet werden kann. Deshalb ist klar, dass es nie eine einzige „Liste“ an zentralen naturwissenschaftlichen Inhalten oder Ideen geben kann, die für alle Betrachtungsweisen des Klimawandels immer die gleiche Relevanz besitzen. Wenn es um ein basales Grundverständnis unseres Klimasystems und des aktuellen Klimawandels aus naturwissenschaftlicher Sicht geht, kristallisieren sich jedoch

einige Konzepte und Inhalte heraus, die als die wesentlichen Voraussetzungen gesehen werden können. Basierend auf Fachliteratur, bereits bestehenden Rahmenkonzepten und Interviews mit Klimawissenschaftler*innen in Österreich und der Schweiz sind wir zu dem Schluss gekommen, dass die folgenden sechs Themenbereiche im Physikunterricht zum Thema Klimawandel aufgegriffen werden sollten. Diese inhaltlichen Beschreibungen haben nicht die Absicht, alle Details aus physikalischer Sicht zu beschreiben, sondern können vielmehr als Anregungen für die Planung von Unterricht zum Thema Klimawandel dienen.

2.1 Unsere Atmosphäre

Ein grundlegendes Verständnis von Größe, Aufbau und Zusammensetzung unserer Atmosphäre stellt eine wichtige Basis für ein Verständnis des Klimawandels dar. Es geht darum, zu verstehen, dass unsere Atmosphäre eine dünne Gashölle ist, deren Dichte nach oben hin schnell abnimmt. Zum Vergleich wäre die Atmosphäre auf einem Globus der Größe eines Basketballs etwa ein bis zwei Papierdicken groß, und auf den höchsten Bergen dieser Erde kann man schon praktisch nicht mehr atmen. Auch geht es darum, dass man die Atmosphäre gedanklich in verschiedene Schichten wie Tropo- oder Stratosphäre unterteilen kann. Relevant für das Wetter- und Klimageschehen sind aber nur die Atmosphärenschichten, die der Erdoberfläche sehr nah sind, weil diese bereits den weitaus größten Teil der Luftmenge beinhalten und weil die Erwärmung der Atmosphäre von Richtung des Erdbodens ausgeht, wir also eine Art Bodenheizung auf der Erde haben. Interessant ist auch, dass die Atmosphäre in ihrer Zusammensetzung homogen erscheint, es muss also genügend Konvektion und Turbulenz geben, die Gase verschiedener Dichte ständig zu durchmischen.

Außerdem geht es darum, den Anteil an Treibhausgasen in der Atmosphäre einschätzen zu können, die ja nur in Spuren vorkommen, und die entscheidende Eigenschaft von ihnen zu kennen: Für sichtbares Licht durchlässig zu sein, aber mit Infrarotstrahlung zu wechselwirken.

Mit diesem (Fakten-)Wissen sind die Grundlagen für ein Verständnis des Treibhauseffekts gelegt, und man versteht, dass die Menschheit tatsächlich in der Lage ist, die natürliche Atmosphäre nennenswert mit CO₂ anzureichern.

Unterrichtspraktische Beispiele, Empfehlungen oder Hinweise zu diesem Konzept finden Sie im Beitrag „Eine experimentelle Unterrichtseinheit zum Treibhauseffekt“ (S. 20-24) und im Beitrag „Der Klimawandel: verstehen und handeln“ (S. 33-35).

2.2 Der Unterschied zwischen Wetter und Klima

Hat man erst einmal eine Idee davon, wie unsere Atmosphäre oder die Luft, die uns umgibt, generell aufgebaut ist, kann man

sich Fragen darüber stellen, wie der Zustand der Atmosphäre bzw. Luft an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt beschrieben werden kann. Dies führt automatisch zum Begriff „Wetter“, womit letztendlich das beschrieben wird, was wir sehen und spüren, wenn wir nach draußen gehen. Etwa Regen, Schnee, Sonnenschein, warm, kalt, windig ...

Durch Messung bestimmter Parameter wie zum Beispiel der Temperatur lässt sich das Wetter unmittelbar bestimmen, das Klima jedoch nicht. Unter Klima wird etwas Längerfristiges verstanden, das sich durch statistische Werte wie etwa die mittlere Temperatur, aber auch deren auftretende Schwankungen (Streuung, Extremwerte, ...) beschreiben lässt [3]. Aber nicht nur auf einer zeitlichen Skala sind diese Unterschiede festzuhalten, sondern auch auf einer räumlichen: So kann von einem globalen Klima gesprochen werden, ein globales Wetter gibt es jedoch nicht. Und während es schwierig ist, das Wetter (etwa die Temperatur) an einem Ort mehr als 10 Tage vorzusagen, ist es anhand von Klimamodellen sehr wohl möglich, Klimaentwicklungen (etwa mittlere Globaltemperaturen) für Jahrzehnte zuverlässig zu projizieren.

Ein Grund, warum es wichtig ist, die direkte Wahrnehmung von Wetter vom Begriff des Klimas unterscheiden zu können, ist etwa, dass persönliche Wahrnehmungen von Wetter unsere (unterbewussten) Einstellungen zum Klimawandel beeinflussen können. So zeigen Studien, dass Menschen an besonders warmen Tagen eher an den menschenverursachten Klimawandel glauben, als an besonders kalten Tagen [4].

Ein unterrichtspraktisches Beispiel zu diesem Konzept finden Sie im Beitrag „Wetter und Klima unter die Lupe genommen.“ (S. 25-29).

2.3 Das Klima als System

Um das Klima und dessen Veränderungen zu verstehen, reicht es nicht, sich auf Betrachtungen der Atmosphäre zu beschränken. Das Klima unserer Erde muss als System beschrieben werden, in dem unterschiedliche Bestandteile miteinander wechselwirken. Zwischen diesen wird insbesondere Energie, aber auch Materie (wie etwa Kohlenstoff) ausgetauscht. Dabei verändert sich das Klimasystem über die Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen Dynamik (sogenannte Feedback- oder Rückkopplungseffekte), durch natürliche externe Einflüsse wie Änderungen in der Sonneneinstrahlung (Milanković-Zyklen) oder durch anthropogene Einflüsse wie die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Die unterschiedlichen Teile des Klimasystems reagieren wiederum unterschiedlich schnell auf externe Antriebsfaktoren. Am schnellsten reagieren die Atmosphäre und der oberflächennahe Teil der Ozeane. In der Tiefsee verlaufen klimatische Veränderungen sehr langsam, die großen Eisschilde reagieren noch langsamer auf Veränderungen. Diese Liste von Systemelementen und Wechselwirkungen lässt sich beinahe beliebig fortsetzen, denn das Klimasystem ist hochkomplex mit unüberschaubar vielen Systemelementen.

Es hat stochastische Züge, und ist zwar von uns beeinflussbar (leider), aber nicht steuerbar.

Für die Entwicklung eines Klimawissens bei Schüler*innen erscheint wichtig, das Klima als System zu verstehen, damit sie keine mono-kausalen Lösungen erwarten, sondern vielmehr auf herantastendes (menschliches) Vorgehen beim Eingreifen in das Klimasystem bestehen, um dieses nicht unüberschaubar und irreversibel zu stören [5–7].

Ein direktes unterrichtspraktisches Beispiel zum Klima als System findet sich in diesem Heft nicht, im Beitrag „Nachhaltigkeit berechnen“ (S. 30-32) werden jedoch Ideen systemischen Denkens im Zuge eines Life-Cycle-Assessments aufgegriffen.

2.4 Der Treibhauseffekt

Da der aktuelle Klimawandel auf menschliche Einflüsse zurückzuführen ist [8], stellt der Treibhauseffekt, insbesondere der anthropogene Anteil an diesem, einen weiteren zentralen Baustein einer Gesamtbetrachtung dar. Der Treibhauseffekt ist jedoch ein komplexes Phänomen, für dessen Verständnis mehrere Wissens Elemente miteinander verknüpft werden müssen. In Kasten 1 finden Sie eine mögliche fachlich-fachdidaktische Klärung des Treibhauseffekts, die als Grundlage für eine geeignete Elementarisierung im Unterricht dienen kann. Die Beschreibung zielt also nicht darauf ab, den Treibhauseffekt möglichst exakt darzustellen, sondern eine anschlussfähige Erklärung zu liefern.

Die Bedeutung dieses Konzepts unterliegt einer gewissen Augenscheinlichkeit, wird jedoch besonders deutlich, wenn man bedenkt, dass Laien oft Schwierigkeiten haben, das Ozonloch vom Klimawandel zu unterscheiden [9]. So können Nachrichtenmeldungen darüber, dass sich das Ozonloch etwa bis zum Jahr 2050 wieder schließen soll, zu Verwirrung führen. Das kann sogar so weit gehen, dass ein vermeintlich abnehmender Klimawandel wahrgenommen wird [9].

Unterrichtspraktische Vorschläge und Ideen zu diesem Konzept finden Sie im Beitrag „Eine experimentelle Unterrichtseinheit zum Treibhauseffekt“ (S. 20-24) und im Beitrag „Der Klimawandel: verstehen und handeln“ (S. 33-35).

2.5 Der Kohlenstoffkreislauf

Anhand des Treibhauseffekts kann geklärt werden, warum es durch eine erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur kommt. Offen bleibt dabei aber, wie es zu dieser Anreicherung an Treibhausgasen in der Atmosphäre kommen kann. Um diesen Anreicherungseffekt zu verstehen, braucht es ein basales Verständnis über den sogenannten Kohlenstoffkreislauf: Es bedarf also Wissen darüber, dass Kohlenstoff in unterschiedlichen Teilen oder Sphären des Klimasystems

vorkommt und, dass sich dieser insbesondere zwischen der Atmosphäre, den Lebewesen und der Hydrosphäre bewegt (Speicher-Fluss-Schema), wobei CO_2 selbst einen Speicher darstellt. Es gibt eine große Menge an Kohlenstoff, der auf natürliche Weise nicht maßgeblich an diesem Austausch beteiligt ist. Das ist etwa Kohlenstoff, der in Gesteinsform gebunden ist, sowie Kohlenstoff, der in Form von fossilen Brennstoffen (fest, flüssig und gasförmig) in der Erdkruste gelagert ist.

Ohne menschliche (oder externe natürliche) Einflüsse befindet sich der Austausch des Kohlenstoffs in einem natürlichen Gleichgewicht – es fließt also genauso viel Kohlenstoff von den Ozeanen und Lebewesen in die Atmosphäre, wie die Ozeane und Lebewesen aufnehmen. Dieses natürliche Gleichgewicht sorgte über Jahrhunderte für eine relativ konstante CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wird jedoch zusätzliches CO_2 in die Atmosphäre eingebracht, wodurch der natürliche Kohlenstoffkreislauf gestört wird. Darüber hinaus stellt das Abholzen / Brandrodung von Wald, früher im Rahmen der Industrialisierung und heutzutage im Amazonas, einen weiteren Zufluss in den Speicher Atmosphäre dar. Und die durch das Abholzen verminderte Photosynthese bedeutet einen geringeren Abfluss aus dem Speicher Atmosphäre. Zumindest im Erdzeitalter Karbon, als Kohlenstoff in den fossilen Brennstoffen gespeichert wurde, muss ein natürliches Fließgleichgewicht geherrscht haben. Ein Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs ist also wichtig, um den menschlichen Anteil am aktuellen Klimawandel zu verstehen.

Einen unterrichtspraktischen Beitrag zum Kohlenstoffkreislauf finden Sie im Plus-Lucis Heft „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ (3/2020) unter dem Titel „Klimawandel im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I“.

2.6 Das Wesen der Klimawissenschaften

Zu guter Letzt ist ein zentraler Baustein, für ein Verständnis des Klimawandels, nachzuvollziehen, wie Klimawissenschaftler*innen zu ihren Erkenntnissen kommen und wieso diese Ergebnisse enorm zuverlässig sind. Zentral ist auch die Erkenntnis, dass sich die Klimawissenschaften letztendlich seit mehreren Jahrzehnten einig darüber sind, dass der aktuelle Klimawandel stattfindet und wir Menschen dafür hauptverantwortlich sind [8].

Klimaentwicklungen werden häufig auf die Entwicklung der globalen erdnahen Oberflächentemperatur beschränkt, dabei gibt es viele unterschiedliche Indikatoren, anhand derer Klimawissenschaftler*innen unser Wissen über das Klimasystem generieren. Dazu gehören beispielsweise die von Satelliten beobachtete und erwartete Abkühlung (!) der oberen Atmosphäre [10], weil weniger Wärmestrahlung vom Erdboden in die obere Atmosphäre gelangt, Messungen des Wärmegehalts in den Ozeanen [11], der Anstieg der

Meeresspiegel, der Rückgang der Gletscher, ... Es gilt also eine Einsicht darin zu bekommen, dass Klimawissenschaftler*innen Fingerabdrücke des anthropogenen Klimawandels auf unterschiedliche Arten und Weisen messen und analysieren können, diese aber unabhängig voneinander alle zum selben Ergebnis gelangen. Denn nur wer weiß, warum Ergebnisse der Klimawissenschaften so zuverlässig sind, und dass Klimawissenschaftler*innen sich einig sind, kann darüber entscheiden, welche Informationen, die beispielsweise in sozialen Medien verbreitet werden, zutreffend sind [12].

Dieses Konzept wird in diesem Heft dreimal aufgegriffen: Im Artikel „Cranky Uncle: a game building resilience against climate misinformation“ (S. 13-16), im Beitrag „Die lange Geschichte des menschengemachten Klimawandels“ (S. 9-12) und im Beitrag „Die zehn häufigsten Klimamythen und wie man ihnen in der Schule begegnen kann“ (S. 17-19).

3. Zentrale Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten zum Klimawandel

Die obigen Beschreibungen zentraler Konzepte aus fachlicher Sicht sollen Anregungen für die Integration des Themas im Physikunterricht liefern. Aus lerntheoretischer Sicht ist es aber genauso wichtig, sich mit Vorstellungen, mit denen Schüler*innen typischerweise in den Unterricht kommen, auseinanderzusetzen [13].

3.1 Vorstellungen zum Treibhauseffekt

Fachdidaktische Forschung im deutsch- und englischsprachigen Raum (z. B. [14-16]) zeigt, dass typische Schülervorstellungen zum Treibhauseffekt sich in Erwärmung durch mehr Einstrahlung und durch weniger Abstrahlung unterscheiden lassen. Gleichzeitig gibt es Verwirrung um die Strahlungsarten UV, IR und sichtbares Licht. Je nach Forschungsarbeit meinen bis zur Hälfte der untersuchten Schüler*innen, dass es wärmer wird, weil Treibhausgase die Ozonschicht zerstören und dadurch mehr UV-Licht auf die Erde kommt (Erwärmung durch mehr Einstrahlung). Eine Abwandlung dieses Bildes ist die Vorstellung, dass Sonnenstrahlung, also sichtbares Licht und Wärmestrahlung, durch ein Ozonloch dringen kann (mehr Einstrahlung) und dann zwischen Erde und Ozonschicht, die wie ein halbseitig durchlässiger Spiegel für die Sonnenstrahlung wirkt, hin und her reflektiert wird (zusätzlich weniger Abstrahlung). In einer weiteren Vorstellung, die ohne Ozon auskommt, meinen Schüler*innen, dass Treibhausgase in einer hoch gelegenen Schicht konzentriert seien, die halbseitig durchlässig für Sonnenstrahlung ist, und die Strahlung dann ewig zwischen Erde und Treibhausgasschicht reflektiert wird, wodurch es wärmer wird (Erwärmung ausschließlich durch weniger Abstrahlung). Eine kleine Minderheit von Schüler*innen stellt sich zusätzlich korrekterweise an der Erdoberfläche eine Umwandlung von sichtbarem Licht zu Wärmestrahlung vor. Allen typischen Vorstellungen gemein ist ein Schicht-Denken mit einer aktiven Schicht Treibhausgase/

Ozon „irgendwie“ weit oben, vielleicht in Analogie zum Glas bei einem Gewächshaus, obwohl wir tatsächlich eine durchmischte Atmosphäre haben. Interventionsstudien konnten zeigen, dass der Erwerb eines fachlich angemessenen Verständnisses in der Schule möglich ist, wobei nicht alle Lernenden dieses Ziel erreichen. Eine immer noch aktuelle Übersicht gängiger Lernenden-Vorstellungen findet sich bei Niebert in Unterricht Physik [17].

3.2 Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf

Fachdidaktische Forschung im deutsch- und englischsprachigen Raum [14-17] zeigt, dass Schüler*innen verwirrt sind bei den Kohlenstoff-Speichern, bei den Flüssen zwischen den Kohlenstoff-Speichern sowie bei grundlegenden Vorstellungen von Chemie und Materie. In einer Studie aus Australien [15] etwa gaben rund ein Fünftel der befragten Schüler*innen an, dass Pflanzen neue Kohlenstoffatome aus Sonnenlicht herstellen würden, 40% meinten, dass Kohlenstoff praktisch nur in der Atmosphäre vorkäme, und fast die Hälfte gab an, dass fossile Brennstoffe aus Gestein kämen und zeigten sich im Interview verwundert, dass Kohle, Öl und Gas ursprünglich von Lebewesen stammen. Schüler*innen zeigen also teilweise Verwirrung um grundlegende chemische und biologischen Prinzipien wie Erhaltung der Materie und Reaktionen bei Atmung, Verbrennung, und Photosynthese und wo die Speicher für Kohlenstoff auf der Erde sind. Manches erinnert an die Humus-Theorie, wonach Pflanzen „aus dem Erdboden“ wachsen [18].

In einer anderen Studie aus Deutschland zum Kohlenstoffkreislauf stellen sich knapp die Hälfte der Schüler*innen Einbahn-Straßen vor und unterscheiden zwischen „künstlichem“ und „natürlichem“ CO₂. Ersteres meint CO₂, das bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas entsteht, nicht aber etwa beim Verbrennen von Holz. Außerdem gibt es nach dieser Denkfigur keine natürlichen Prozesse zur Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre, wo es sich in Folge mehr und mehr anreichert (Einbahn-Straße). Eine eher seltene Variante davon ist nach Niebert [14] die Unterscheidung zwischen „pflanzennahem“ und „-fernem“ CO₂. Ersteres entsteht natürlich und kann von Pflanzen gebunden werden, letzteres wird an einem Ort unerreichbar für Pflanzen gebildet, etwa zu hoch (Schornsteine) oder zu weit weg (Industrieländer vs. Amazonas), und bildet in Folge eine hohe Schicht (siehe Vorstellungen zum Treibhauseffekt) in der Atmosphäre. Weil es ohne Durchmischung der Atmosphäre unerreichbar für die Pflanzen ist, so die Denkfigur, gibt es entsprechend wieder keinen natürlichen Prozess zur Entfernung von CO₂. Es gibt auch Schüler*innen, die eine einheitliche Vorstellung von CO₂ haben, und das vermehrte CO₂ in der Atmosphäre als ein menschengemachtes Ungleichgewicht erklären können als Folge vermehrter Verbrennung und Abholzung, also einfach zu viel CO₂, das von den Pflanzen nicht sofort verwertet werden kann. Zum Teil halten Schüler*innen Mischformen der hier beschriebenen Vorstellungen. Eine

unterrichtspraktische Aufbereitung von Schülervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf in einem Aufsatz scheint es nicht zu geben.

4. Fazit

Zusammengefasst ist klar, dass der Klimawandel ein komplexes, facettenreiches Thema für den Naturwissenschafts- bzw. Physikunterricht darstellt. Neben der Auswahl und Elementarisierung von zentralen Konzepten und Inhalten für ein Klimawandelverständnis braucht es auch die Berücksichtigung von typischen Vorstellungen und Lernschwierigkeiten, die in einen sinnstiftenden Unterricht eingebunden sind. Wir hoffen, dass die Beiträge in diesem Themenheft Sie dabei unterstützen können. Viel Freude mit diesem Themenheft!

Thomas Schubatzky *Fachbereich Physikdidaktik,*
Universität Graz

Rainer Wackermann *AG Didaktik der Physik,*
Ruhr-Universität Bochum

Carina Wöhlke *AG Didaktik der Physik, Ruhr-Universität Bochum*

Claudia Haagen-Schützenhöfer *Fachbereich Physikdidaktik,*
Universität Graz

Kasten 1: Fachlich-fachdidaktische Klärung des Konzepts „Treibhauseffekt“

(Dunkle) Körper strahlen entsprechend ihrer Temperatur Energie ab. Das bezieht sich sowohl auf die Energiemenge als auch auf die Wellenlänge der Strahlung.

Die Sonne strahlt überwiegend sichtbare Strahlung ab. Die Sonne ist Hauptenergielieferant für die Erde. Die Erde ist von einer Atmosphäre umgeben.

1. Schritt: Ungefähr die Hälfte der Sonnenstrahlung geht ungehindert durch die Atmosphäre durch auf den Erdboden. Etwa ein Viertel der Sonnenstrahlung wird an den Wolken direkt in den Weltraum reflektiert; ein anderes Viertel wird von der Atmosphäre absorbiert. Helle Stellen wie Eis oder Schnee auf der Erdoberfläche reflektieren diese Strahlung unverändert zurück in den Weltraum.

2. Schritt: Dunkle Stellen wie Gestein oder Ozean absorbieren die Sonnenstrahlung und erwärmen sich. Die dunkle, erwärmte Erdoberfläche strahlt aufgrund ihrer Temperatur langwellige Wärmestrahlung ab. Das ist eine Strahlungsumwandlung von sichtbarer Sonnenstrahlung zu Wärmestrahlung.

3. Schritt: Für die Wärmestrahlung ist die Atmosphäre auf Grund in Spuren vorkommender Gase (Wasserdampf, CO₂ ...) nur teilweise durchlässig. Die Atmosphäre wird erwärmt. Die Atmosphäre wird von unten erwärmt. Das ist der natürliche Treibhauseffekt auf der Erde, der die mittlere Temperatur von -18°C auf +15°C Grad hebt. Es gibt einen zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffekt (auf +16°C) durch erhöhten Eintrag von bspw. CO₂ in die Atmosphäre.

4. Schritt: Die erwärmte Atmosphäre emittiert auch wieder langwellige Wärmestrahlung – auch nach unten. Dadurch wird die Erdoberfläche zusätzlich erwärmt. Im Endeffekt strahlt die Erde genauso viel Energie ab, wie von der Sonne eingestrahlt wird (Strahlungsgleichgewicht). Mit zunehmender CO₂ Menge in der Atmosphäre wird auch zunehmend Wärmestrahlung der Erdoberfläche von der Atmosphäre absorbiert. Dadurch verlässt weniger Energie die Erde (Strahlungsungleichgewicht). Mit steigender Temperatur steigt aber die Fähigkeit zur Abstrahlung von Energie. Es kommt zu einem neuen Strahlungsgleichgewicht bei erhöhter Temperatur der Erde.

Literatur

- [1] APCC. , Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14): Synopse – Das Wichtigste in Kürze. . 2014, . http://austriaca.at/0xc1aa500e_0x0031456f.pdf (letzter Zugriff am 1.3.2021).
- [2] Moser, S. C. , Communicating climate change: history, challenges, process and future directions. WIREs Clim Change, . 2010, 1(1), . S. 31–53.
- [3] Malberg, H. , Meteorologie und Klimatologie: Eine Einführung . 2007, . : Springer-Verlag.
- [4] Hamilton, L. C., Stampone, M. D. , Blowin' in the Wind: Short-Term Weather and Belief in Anthropogenic Climate Change. Weather, Climate, and Society, . 2013, 5(2), . S. 112–119.
- [5] Bossel, H. , Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme . 2004, . Norderstedt: Books on Demand.
- [6] Riess, W. , Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. Anliegen Natur, . 2013, 35(1), . S. 55–64.
- [7] Brockmüller, S., Siegmund, A. , Erfassung und Entwicklung von Systemkompetenz – Empirische Befunde zu Kompetenzstruktur und Förderbarkeit durch den Einsatz analoger und digitaler Modelle. 1, . 2020, 48(1), . S. 31–49.
- [8] Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R. L., Verheggen, B., Maibach, E., Carlton, J. S., Lewandowsky, S., Skuce, A. G., Green, S. A. , Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. Environmental Research Letters, . 2016, 11(4), . S. 48002.
- [9] Niebert, K. , Nachhaltigkeit lernen im Anthropozän. MKW Schweer (Hg), Bildung für nachhaltige Entwicklung in pädagogischen Handlungsfeldern. Bern: Peter Lang, . 2016,), . S. .
- [10] Steiner, A. K., Ladstädter, F., Randel, W. J., Maycock, A. C., Fu, Q., Claud, C., Gleisner, H., Haimberger, L., Ho, S.-P., Keckhut, P. , Observed temperature changes in the troposphere and stratosphere from 1979 to 2018. Journal of Climate, . 2020, 33(19), . S. 8165–8194.
- [11] Schuckmann, K. von, Cheng, L., Palmer, M. D., Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., Adusumilli, S., Beltrami, H., Boyer, T., Cuesta-Valero, F. J. , Heat stored in the Earth system: where does the energy go? Earth System Science Data, . 2020, 12(3), . S. 2013–2041.
- [12] Höttecke, D., Allchin, D. , Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Sci. Ed., . 2020, 60(3), . S. 287.
- [13] Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., Komorek, M. , Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, . 1997, 3(3), . S. 3–18.
- [14] Niebert, K. , Den Klimawandel verstehen. Eine Didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung [Understanding climate change. An educational reconstruction of global warming]. Oldenburg, Germany: Didaktisches Zentrum Oldenburg, . 2010,), . S. .
- [15] Jarrett, L., Takacs, G. , Secondary students' ideas about scientific concepts underlying climate change. Environmental Education Research, . 2020, 26(3), . S. 400–420.
- [16] Keller, J. M. , Development of a concept inventory addressing students' beliefs and reasoning difficulties regarding the greenhouse effect. University of Arizona, AAT, . 2006, 3237466), . S. .
- [17] Niebert, K. , Es wird wärmer, weil mehr Sonne auf die Erde scheint! Unterricht Physik, . 2009, 20(11/112), . S. 20–23.
- [18] Barke, H.-D. , Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen . 2006, . Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Die lange Geschichte des menschengemachten Klimawandels – Die Klimakrise ist in der Politik schon seit 56 Jahren bekannt

Rainer Wackermann & Thomas Schubatzky

Klimawissenschaftler*innen sind sich schon lange einig, dass der aktuelle Klimawandel stattfindet und wir Menschen dafür hauptverantwortlich sind [1]. In diesem Beitrag möchten wir die geschichtliche Entwicklung dieser Erkenntnis und deren Kommunikation an die Öffentlichkeit aufzeigen. Dabei zeigt sich unter anderem, dass die Klimakrise auf höchster politischer Ebene seit 56 Jahren bekannt ist, dass die Ölindustrie gezielt versucht, die Geschichte auf ihre Weise zu erzählen, und dass das Zwei-Grad-Ziel politisch gesetzt wurde und überhaupt kein naturwissenschaftlich fundiertes Ziel darstellt.

1. Erste Erkenntnisse

Der erste Hinweisgeber auf einen Treibhauseffekt auf der Erde war vielleicht Joseph Fourier, der in den 1820er Jahren mit der, seit dem Venus-Transit 1770 bekannten, Entfernung Erde-Sonne, berechnete, dass die Erde eigentlich viel kälter sein müsste („nackter Fels im Weltall“). Er erwog die Möglichkeit, dass die spürbare, aber eben nicht sichtbare Wärme der Erdoberfläche von Gasen in der Atmosphäre zurückgehalten wird [2]. Den ersten experimentellen Nachweis, dass CO₂ Wärmestrahlung absorbieren kann, erbrachte wohl 1856 die Amerikanerin Eunice Foote. Den Vortrag auf der achten Jahrestagung der American Association for the Advancement of Sciences (AAAS) durfte sie nicht selber halten, sondern er musste von (irgend)einem männlichen Professor vorgetragen werden [3]. Häufig, aber eben fälschlich, wird die Entdeckung, dass CO₂ Wärmestrahlung absorbiert, dem Iren John Tyndall drei Jahre später im Jahre 1859 zugesprochen. Von ihm ist bekannt, dass er sich als begeisterter Bergsteiger, der sich u. a. am Matterhorn versuchte, für den Temperaturverlauf in der Atmosphäre interessierte. Gleichzeitig fühlte er sich als talentierter Experimentator herausgefordert, die bereits zuvor an Flüssigkeiten – wo die Effekte aufgrund der höheren Dichte entsprechend größer ausfallen – beobachtete Absorption von Wärmestrahlung auch bei Gasen nachweisen zu wollen [4]. Im Jahre 1896 berechnete dann Svante Arrhenius mit einem einfachen, idealisierten Treibhausmodell (Atmosphäre ist eine infinitesimal dünne Schicht, Sonnenstrahlung ist nur kurzweilig, überall ist die gleiche Albedo, usw. [5]), dass eine Verdoppelung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre ca. 5-6°C Erwärmung bedeuten würden [6].

2. Bestätigende Beobachtungen

In der Mitte des 20. Jahrhunderts war es dann erstmalig möglich, die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre bis auf 0,1 ppm genau zu messen – ein experimentelles Kunststück, das David Keeling Mitte der 50er Jahre gelang [7]. Seine verbesserte Messmethodik mit einer Präzision von bis zu 0,1 ppm führte beispielsweise 1956 zur Beobachtung des „Atmens“ von Pflanzen zwischen Tag und Nacht. Als Folge glücklicher persönlicher Entscheidungen – Keeling hat ein interessantes Forscherleben gelebt (siehe [7]) – und unter Ausnutzen eines Forschungsprojekts anlässlich des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957 auf Hawaii, beginnt dann die Geschichte der legendären Keeling-Kurve, siehe Abbildung 1 (unter <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> gibt es die übliche Darstellung der Keeling-Kurve).

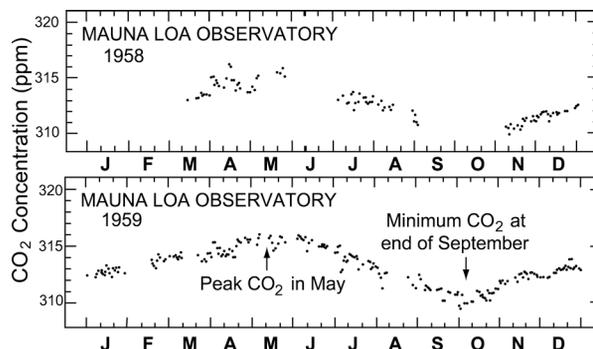


Abbildung 1: Messdaten der ersten beiden Jahre der Keeling-Kurve. Die Messausfälle im ersten Jahr stammen jeweils daher, dass Keeling zum Reparieren der Messstation aus Kalifornien anreisen musste. Im zweiten Jahr ist bereits die jahreszeitliche Schwankung der CO₂-Konzentration um ca. 5 ppm aufgrund des Wachstums und Fallens von Blättern auf der Nordhalbkugel zu sehen [7].

Aus Abbildung 2 kann man zusätzlich entnehmen, dass es auch auf Hawaii mitten im Pazifik tagesaktuelle Veränderungen in der CO₂-Konzentration gab bzw. gibt.

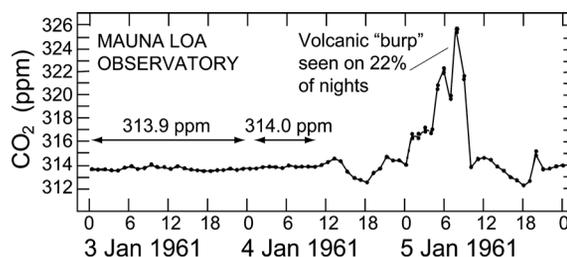


Abbildung 2: Detailausschnitt aus der Keeling-Kurve. [7]

Nach der Berücksichtigung solcher Ausreißer wurde schon nach wenigen Jahren Messzeit deutlich, dass der CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre anfänglich mit etwas weniger als 1 ppm pro Jahr und mittlerweile eher mit 2 ppm pro Jahr ansteigt, wobei bekanntlich nur ungefähr die Hälfte des ausgestoßenen CO_2 in der Atmosphäre verweilt – der Rest löst sich als Kohlensäure im Ozeanwasser.

3. Wahrnehmung in der Politik / auf höchster Ebene

Die andauernden Messungen von Keeling wurden in den Folgejahren mit wachsendem Interesse, aber auch wachsender Sorge beobachtet. Im Jahre 1965 richtete etwa der amerikanische Präsident Lyndon B. Johnson eine Anfrage an das President's Science Advisory Committee, was die andauernden Messungen von Keeling bedeuten würden. Das Komitee berichtete von einem beobachtbaren Effekt des Ausstoßes von CO_2 durch das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas und warnte: „By the year 2000 the increase in atmospheric CO_2 will be close to 25%. This may be sufficient to produce measurable and perhaps marked changes in climate, and will almost certainly cause significant changes in the temperature ...“ [8].

Der Präsident ordnete an, dass der Bericht, der sich im Übrigen mit vielen weiteren Umweltproblemen beschäftigt, nicht nur an die entsprechenden Behörden weitergeleitet, sondern auch an die Öffentlichkeit gebracht wird. Er hielt dazu auch eine Rede im US-amerikanischen Kongress [9]. Man könnte vielleicht sagen, dass seitdem die belebte Weltöffentlichkeit davon weiß.

Im Jahre 1979 beauftragte Präsident Jimmy Carter die JASON Defense Advisory Group, eine unabhängige Gruppe von Wissenschaftler*innen in den USA, die die Regierung in technologischen Fragen der nationalen Sicherheit berät, eine Meinung zu „Long-term impacts of increasing atmospheric carbon dioxide levels“ [10] zu bilden. Sie sagten eine Verdoppelung des CO_2 -Gehalts bis 2035 voraus und eine damit einhergehende Erwärmung um 2-3 Grad in der Mitte des 21. Jahrhunderts mit Erwärmungen um 8-9°C in den Polarregionen (S. 24). Unsicher war damals, ob die damit einhergehenden günstigen Veränderungen (etwa Ackerbau in höheren Breiten) größer sind als die möglichen Katastrophen, die in anderen Teilen der Welt mit einer Erderwärmung einhergehen (etwa Meeresspiegelanstieg um 5 m durch Abtauen des West-Antarktischen Eisschildes, S. 25). Im Anschluss bat Präsident Carter auch die Nationale Akademie der Wissenschaften um ihre Einschätzung. Diese kam zu dem Schluss, dass verschiedene, damals bestehende Klimamodelle ohne Ausnahme übereinstimmend eine globale Erwärmung bei weiterer Verbrennung von Kohle, Öl und Gas vorhersagen (etwa von +3°C bei Verdoppelung von CO_2 , der Zeitpunkt war damals aufgrund potenzieller Verzögerungen durch die Ozeane noch unklar). Diese Erwärmung wird von bedeutsamen Veränderungen im regionalen Klimageschehen begleitet [11].

Insgesamt ist die Sprache in dieser Einschätzung aber noch sehr wissenschaftlich, abwägend und mit Vorbehalten versehen.

4. Deutlichere Worte

Deutlichere Worte fand gegen Ende der 1980er Jahre Dr. James Hansen, ein bei van Allen (Entdecker der gleichnamigen Strahlungsgürtel um die Erde) promovierter Atmosphärenphysiker und dann Chefwissenschaftler am Goddard Center der NASA. Im Jahre 1987 publizierte er eigene Klimamodellierungen [12]. Die Ergebnisse interpretierte er so, dass der Klimawandel stattfindet, dass er nahezu sicher menschengemacht ist, und dass man in den 1990er Jahren bestätigende Daten messen werde, wenn die mittlere globale Temperatur mit etwa einem halben Grad Erhöhung aus dem Rauschen hervortritt – was auch genauso eintrat. Am 23. Juni 1988 berichtete Dr. Hansen auf Einladung eines demokratischen Senators vor dem Energy and Natural Resources Committee des US-Senats über seine Erkenntnisse – mehrere große Tageszeitungen brachten diese Meldung.

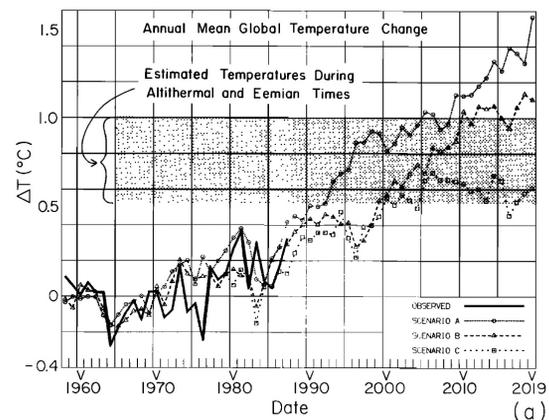


Abbildung 3: Jahresmittelwerte der globalen Oberflächentemperatur, berechnet für drei unterschiedliche Szenarien. Der schattierte Bereich in der Abbildung ist eine Schätzung der globalen Oberflächentemperatur während der Spitzenwerte der aktuellen und früheren interglazialen Zeiträume [12]

5. Wissenschaft(ler) bei Exxon Mobil?

Wie vielleicht nicht allgemein bekannt ist, hatte die Ölfirma ExxonMobil (bzw. deren Teil-Vorläufer vor dem Zusammenschluss 1999) beginnend in den 70er und endend in den 80er Jahren Wissenschaftler*innen angestellt, die über 70 peer review-Artikel in Klimawissenschaften und -politik publizierten [13]. ExxonMobil-Wissenschaftler*innen installierten beispielsweise Experimente auf Öltankern, um die Aufnahme von CO_2 durch die Ozeane zu untersuchen. In ihrer zeitgeschichtlichen Forschungsarbeit zeigen Supran & Oreskes [13], dass mit Ende der 80er Jahre ExxonMobil die eigenen Forschungen einstellte und stattdessen von 1989 bis 2004 1448 sogenannte „editorial advertisements“ in der New York Times schaltete, wovon über 80% Zweifel an einem menschengemachten Klimawandel säen sollten. Nach Banerjee et al. [14] trug zum ersten Mal im Juli 1977 einer der

ExxonMobil-Wissenschaftler*innen dem Vorstand die Aussage vor, dass es wissenschaftlich klar sei, dass die Menschheit durch das Verbrennen von Öl das Klima verändert. Die Ölindustrie weiß also durch eigene Angestellte seit den 1970er Jahren Bescheid, hat sich aber mit Ende der 80er-Jahre darauf fokussiert, Zweifel am menschenverursachten Klimawandel zu säen. Und die Erzählung der Öl-Industrie geht heute noch weiter. Im Jahre 2012 erzählte Rex Tillerson, damaliger Chef von ExxonMobil, sinngemäß, dass der Klimawandel nur ein Ingenieursproblem sei und dass die Menschheit sich schon immer angepasst habe [15].

6. Die großen Klimakonferenzen, oder: Woher kommt das Zwei-Grad-Ziel?

In Toronto im Jahr 1988 kam es zu einer ersten Konferenz, bei der Wissenschaftler*innen und Regierungsvertretungen aus unterschiedlichen Ländern zusammenkamen, um Möglichkeiten des Klimaschutzes zu diskutieren. Im selben Jahr wurde auch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gegründet, dessen erster Bericht zwei Jahre später auflag. Dieser Bericht zeigte ganz klar: Treibhausgasemissionen müssen drastisch reduziert werden, um den Anteil an Kohlendioxid in der Atmosphäre zu stabilisieren.

An dem 1992 in Rio de Janeiro durchgeführten „Erdgipfel“ nahmen bereits Vertreter*innen aus über 170 Ländern teil, im Rahmen des Gipfels wurde unter anderem die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen gegründet. Es wurde beschlossen, die Emissionswerte aus dem Jahr 1990 bis zum Ende des Jahrzehnts (sprich bis zum Jahr 2000) wieder einzuhalten, jedoch auf rein freiwilliger Basis. Trotz regelmäßiger Treffen und der Veröffentlichung des zweiten IPCC-Reports war absehbar, dass diese Ziele nicht eingehalten werden konnten.

Fünf Jahre später kam es schließlich zur dritten UN-Klimakonferenz (COP3) mit dem Ziel, auch ein rechtlich verbindliches Klima-Abkommen abzuschließen. Das sogenannte Kyoto-Protokoll festigte die Absprachen aus der Konferenz in Rio, die konkreten Verhandlungen über dieses Protokoll zogen sich jedoch über die nächsten Jahre hinweg, sodass das Kyoto-Protokoll erst Februar 2005 in Kraft trat. Die USA waren zu diesem Zeitpunkt das einzige Industrieland, welches das Kyoto-Protokoll von Beginn an ablehnte.

Die darauffolgenden Jahre zeichneten sich neben der Veröffentlichung weiterer Berichte des IPCC durch einen schleppenden Fortschritt in Richtung einer globalen Strategie gegen das Voranschreiten des menschenverursachten Klimawandels aus. Erst 2015 einigten sich 195 Staaten darauf, die weltweite Erwärmung auf möglichst unter zwei Grad zu begrenzen, was medial weitgehend als historische Übereinkunft bezeichnet wurde.

Dabei wurde das Zwei-Grad-Ziel nach Jäger und Jäger [16] von Umweltminister*innen aus der EU in den 90er Jahren auf der politischen Ebene eingeführt. Der genaue Ursprung ist unklar, vielleicht war es Zufall, vielleicht weil das Zwei-Grad-Ziel einfach kommunizierbar ist, jedenfalls einfacher als ppm-Angaben oder eine anzustrebende Ausgeglichenheit der Energieströme in der Atmosphäre. Nach Hansen et al. [17] sind wir bereits heute mit einer globalen Erwärmung von etwa +1°C gegenüber vorindustrieller Zeit in einem Temperaturbereich, der zuletzt in der Erdgeschichte langfristig mit einem 6-9 m höheren Meeresspiegel einherging – und damit bereits über den Punkt hinaus, wo langfristig stabile Umweltbedingungen auf der Erde herrschen. Außerdem macht der IPCC-Sonderbericht von 2018 [18] deutlich, dass 1,5 Grad gegenüber zwei Grad einen bedeutsamen Unterschied für das Leben auf der Erde macht. Beispielsweise wird mit sehr hoher Sicherheit bei zwei Grad Erwärmung ein Verlust von >99% der weltweiten Korallen erwartet, den „Regenwäldern der Meere“, gegenüber „nur“ 70-90% Verlust bei 1,5 Grad.

Zusammengefasst kann man sagen, dass das Zwei-Grad-Ziel politisch gesetzt wurde und klimaphysikalisch überhaupt kein „sicheres“ Ziel darstellt. Eine Serie von Emission Gap Reports der UNEP (etwa der von 2020 unter <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>, Zugriff am 18.03.2021) weist darauf hin, dass bereits bei der Vertragsunterzeichnung in Paris die freiwilligen CO₂-Reduktions-Selbstverpflichtungen der Vertragsländer nicht ausreichten, das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen, und dass wir gegenwärtig auf einem Pfad von >+3°C Erwärmung sind. Es gibt sogar Klimawissenschaftler*innen wie Kevin Anderson, die die Übereinkunft von Paris offen als Betrug bezeichnen.

7. Fazit

Zusammengefasst ist die Geschichte vom menschengemachten Klimawandel führenden Politiker*innen und damit im Grunde der gesamten belebten Welt seit 1965, also seit 56 Jahren, zugänglich und bekannt. Es ist eine Geschichte, die wohl zweifelsohne durch die Menschen verursacht ist, aber die eben auch von Menschen erzählt wird. Dies ist unsere Geschichte vom menschengemachten Klimawandel.

DANKSAGUNG: Wir danken Jennifer Chestnut und Liad Neem für wertvolle Hinweise.

Rainer Wackermann *Ruhr-Universität Bochum,*
Fachbereich Didaktik der Physik

Thomas Schubatzky *Universität Graz,*
Fachbereich Physikdidaktik

Literatur

- [1] Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R. L., Verheggen, B., Maibach, E., Carlton, J. S., Lewandowsky, S., Skuce, A. G., Green, S. A., Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, . 2016, 11(4), . S. 48002.
- [2] Skeptical Science. , The History of Climate Science . . . <https://skepticalscience.com/history-climate-science.html> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [3] McNeill, L. , This Suffrage-Supporting Scientist Defined the Greenhouse Effect But Didn't Get the Credit, Because Sexism . 2016, . <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/lady-scientist-helped-revolutionize-climate-science-didnt-get-credit-180961291/> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [4] Hawkins, E. , John Tyndall: founder of climate science? . 2018, . <https://www.climate-lab-book.ac.uk/2018/john-tyndall-founder-of-climate-science/> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [5] Bohren, C. F., Clothiaux, E. E. , Fundamentals of atmospheric radiation. An introduction with 400 problems . 2006, . Weinheim: Wiley-VCH-Verl.
- [6] Arrhenius, S. , XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, . 1896, 41(251), . S. 237–276.
- [7] Harris, D. C. , Charles David Keeling and the story of atmospheric CO₂ measurements. *Analytical chemistry*, . 2010, 82(19), . S. 7865–7870.
- [8] Climate Files. , 1965 President's Science Advisory Committee Report on Atmospheric Carbon Dioxide . . . <http://www.climatefiles.com/climate-change-evidence/presidents-report-atmospher-carbon-dioxide/> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [9] Johnson, L. B. , Special Message to the Congress on Conservation and Restoration of Natural Beauty . 1965, . <http://www.lbjlibrary.net/collections/selected-speeches/1965/02-08-1965.html> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [10] MacDonald, G. , The long term impact of atmospheric carbon dioxide on climate . 1979, . : SRI International.
- [11] National Research Council. , Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment: Report of an Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate, Woods Hole, Massachusetts, July 23-27, 1979 to the Climate Research Board, Assembly of Mathematical and Physical Sciences, National Research Council . 1979, . : National Academy of Sciences: available from Climate Research Board.
- [12] Hansen, J., Fung, I., Lacis, A., Rind, D., Lebedeff, S., Ruedy, R., ... & Stone, P. (1988). Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, 93(D8), 9341-9364.
- [13] Supran, G., Oreskes, N. , Addendum to 'Assessing ExxonMobil's climate change communications (1977–2014)'Supran and Oreskes (2017 *Environ. Res. Lett.* 12 084019). *Environmental Research Letters*, . 2020, 15(11), . S. 119401.
- [14] Banerjee, N., Cushman, J. H., JR., Hasemyer, D., Song, L. , Exxon: The road not taken . 2015, . [S.l.]: InsideClimate News.
- [15] Murray, A. , CEO Speaker Series: A Conversation with Rex W. Tillerson . 2012, . <https://www.cfr.org/event/ceo-speaker-series-conversation-rex-w-tillerson> (letzter Zugriff am 18.3.2021).
- [16] Jaeger, C. C., Jaeger, J. , Three views of two degrees. *Reg Environ Change*, . 2011, 11(S1), . S. 15–26.
- [17] Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Schuckmann, K. von, Beerling, D. J., Cao, J., Marcott, S., Masson-Delmotte, V., Prather, M. J., Rohling, E. J., Shakun, J., Smith, P., Lacis, A., Russell, G., Ruedy, R. , Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions. *Earth Syst. Dynam.*, . 2017, 8(3), . S. 577–616.
- [18] Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R. , Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of, . 2018, 1), . S. 1–9.

Cranky Uncle: a game building resilience against climate misinformation

John Cook

Misinformation about climate change does damage in multiple ways. It causes people to believe wrong things [1], polarizes the public [2], and reduces trust in scientists [3]. Climate misinformation reduces support for climate action [1], delaying policies to mitigate climate change [4]. One of the most insidious aspects of misinformation is it can cancel out accurate information [5, 6]. When people are presented with fact and myth but don't know how to resolve the conflict between the two, the risk is they disengage and believe neither.

Consequently, an effective way to counter misinformation is to help people resolve the conflict between facts and myths. This is achieved by inoculating the public against the misleading rhetorical techniques used in misinformation. Inoculation theory is a branch of psychological research that applies the concept of vaccination to knowledge [7]. Just as exposing people to a weakened form of a virus develops resistance to the real virus, similarly, exposing people to a weakened form of misinformation builds immunity to real-world misinformation. Inoculation has been found to be effective in neutralizing misinformation casting doubt on the scientific consensus on human-caused global warming [2, 6]. Inoculation messages are also long lasting [8].

There are two main inoculation approaches – fact-based and logic-based [9]. Fact-based inoculations expose how the misinformation is wrong by explaining the facts. Logic-based inoculations explain the rhetorical techniques or logical fallacies used by the myth to distort the facts. While both methods are effective in neutralizing misinformation [10, 11], the logic-

based approach is particularly attractive because it works across topics. In one experiment, when participants were inoculated against a rhetorical technique used by the tobacco industry, they were no longer misled by the same technique used in climate misinformation [2]. Logic-based inoculation is like a universal vaccine against misinformation.

Identifying the techniques of denial requires a framework that organizes and describes the misleading fallacies found in misinformation. A useful framework is the five techniques of science denial: fake experts, logical fallacies, impossible expectations, cherry picking, and conspiracy theories [12]. This framework, summarized with the acronym FLICCC, has been subsequently expanded over the years into a more detailed taxonomy of rhetorical techniques, logical fallacies, and conspiratorial traits (see Figure 1, adapted from [13]).

Parallel argumentation is a powerful technique for explaining the misleading techniques of misinformation. This involves transplanting the flawed logic from a fallacious argument into an analogous situation, often an extreme or absurd one [14]. This approach has strong pedagogical value, expressing abstract logical concepts in concrete, relatable terms [15]. By focusing on reasoning errors, parallel argumentation debunks misinformation while sidestepping the need to provide complicated explanations. It is also a technique conducive to entertaining and humorous applications. Figure 2 shows some examples of parallel arguments in cartoon form, adapted from the book *Cranky Uncle vs. Climate Change* [16].

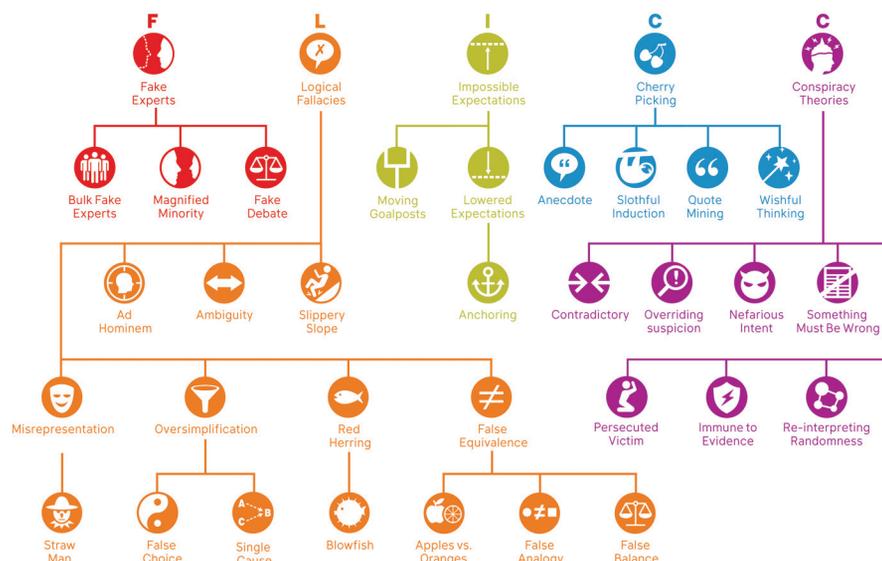


Figure 1. The FLICCC taxonomy, organizing the five categories of science denial techniques.

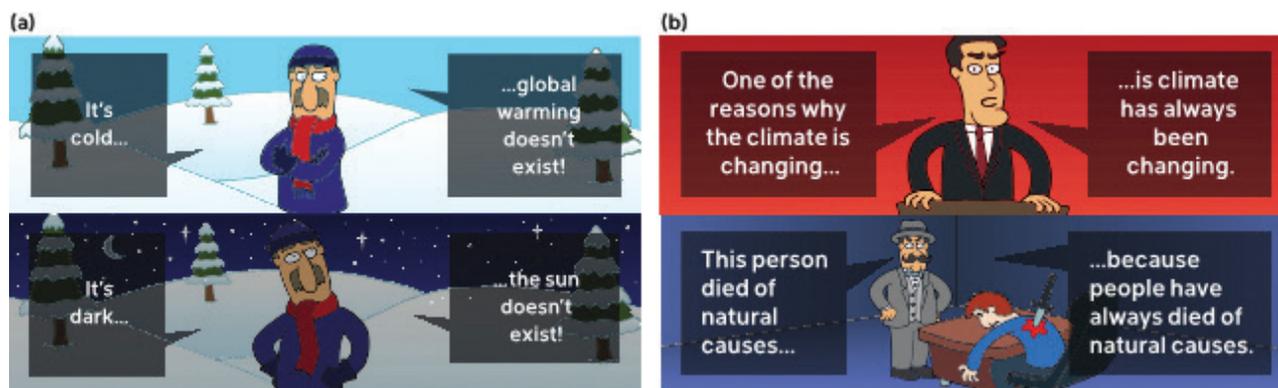


Figure 2. Two examples of parallel argumentation in cartoon form. (a) The argument “cold weather disproves global warming” and a parallel argument illustrating the anecdote fallacy. (b) The argument “climate has changed naturally in the past so what’s happening now must be natural” and a parallel argument illustrating the single cause fallacy.

Generally, humor in science communication offers a number of benefits. Cartoons about climate change provoke mirth, which mediates greater support for climate action [17]. Humorous messages are more engaging, showing the greatest impact with people who are disengaged from issues like climate change [18]. Using humor to explain a serious topic such as climate change with humor makes the issue less threatening and more accessible [19]. People respond to humorous messages with less counterarguing [20].

However, humor can be a double-edged sword as some benefits come with potential drawbacks. While humor makes climate change less intimidating, people also come away less concerned about the issue relative to a serious climate message [21]. Similarly, humorous messages may lead to less counterarguing but they’re also perceived as less informative than serious messages, even when containing the same information [22].

Cartoon parallel arguments have been shown to be effective in debunking misinformation about vaccines [23] and climate change [24]. Using mediation analysis with eye-tracking data, humorous cartoons were found to be successful in discrediting misinformation because people spent more time paying attention to the cartoons [24]. This research shows that using cartoon parallel arguments are an effective way to deliver explanations of logical fallacies and inoculate people against misinformation.

One limitation of logic-based inoculation is that it depends on building resilience by increasing critical thinking, a cognitively effortful activity. The vast majority of our thinking is effortless, fast thinking (e. g., mental shortcuts or heuristics) rather than effortful, slow thinking (e. g., critically assessing the logical validity of misinformation), an aspect of psychology explored in the book *Fast and Slow Thinking* [25]. This reliance on heuristics makes people vulnerable to logical fallacies which can be superficially persuasive. However, Kahnemann also discusses a third type of thinking – expert heuristics. When a person practises a task a sufficient number of times, the slow thinking processes required to complete the difficult task evolve into fast thinking responses.

Games offers engaging tools for incentivizing people to repeatedly perform misinformation-spotting tasks in order to build up their critical thinking skills. Games that are fun to engage with while serving a useful educational purpose are known as serious games [26]. Gameplay elements such as achievement rewards offer learning incentives [27], while leaderboards and player-to-player features add social and community elements [28]. In the case of misinformation, sequences of quizzes where players repeatedly identify fallacies in misleading arguments offer the potential to convert the slow thinking process of analyzing the logic of an argument into easier, faster heuristics.

Games are already being explored as a tool for building resilience against misinformation, using an approach known as active inoculation [29]. Typically, inoculation interventions are passive, with messages received in a one-way direction from communicator to audience. In contrast, active inoculation involves participants in an interactive inoculation process – having them learn the techniques of science denial by ironically learning to use the misleading techniques themselves. Digital games have already been applied in games targeting fake news [30] and misinformation undermining democracy [31].

The *Cranky Uncle* game adopts an active inoculation approach, where a Cranky Uncle cartoon character mentors players to learn the techniques of science denial. *Cranky Uncle* is a free game available on iPhone (sks.to/crankyiphone) and Android (sks.to/crankyandroid) smartphones as well as web browsers (app.crankyuncle.info). The player’s aim is to become a “cranky uncle” – a science denier who skillfully applies a variety of logically flawed argumentation techniques to reject the conclusions of the scientific community. By adopting the mindset of a cranky uncle, the player develops a deeper understanding of science denial techniques, thus acquiring the knowledge to resist misleading persuasion attempts in the future.

One danger of serious games is players can lose motivation if they see the game as all education and no fun. By featuring an ornery cartoon character as a mentor and humorous examples

of logical fallacies (e. g., parallel arguments in cartoon form), this pitfall is avoided. Humor is employed throughout the trails, with Cranky Uncle’s prickly personality shining through. Fun is one of the key predictors of players’ willingness to play a game again [32]. In the Cranky Uncle game, humor is an integral part of the learning process, with cartoon analogies providing not only humor but also instructive illustrations of fallacious logic. Explanations of denial techniques form the spine of the game (Figure 3a). Each denial technique is explained in a “trail”, a sequence of screens featuring text explanations (Figure 3b, 3c) and cartoon examples of logical fallacies. Gameplay elements such as point accumulation (Figure 3d) and leveling up (Figure 4d) provide regular feedback, incentivizing the player to continue deeper into the game and develop greater resilience against misinformation.

After completing trails, players practise their newly acquired critical thinking knowledge by completing quiz questions. The game features three types of questions. The first type are true/false questions (Figure 4a) – either false statements containing a logical fallacy or inherently true statements (e. g., tautologies such as “people are dying who never died before”). The second question type asks the player to identify a specific fallacy from several false statements (Figure 4b). The third question type presents a false statement (in text or cartoon form) with the player identifying the denial technique from four options (Figure 4c).

Games show the greatest player outcomes when they combine a variety of achievement notifications [27]. The Cranky Uncle game provides achievement notifications in a number of ways. Players are regularly shown their points progress throughout the game (Figures 3d) and given immediate feedback in response to correct or incorrect quiz answers. When a player levels up, they are shown a pop-up informing them of their new cranky mood (e. g., “peevish”, Figure 4d).

While the Cranky Uncle game can be played by any member of the public with a smartphone or access to a web browser, arguably its greatest social impact will be as a classroom activity. Critical thinking and resilience against misinformation are skills required across many grade levels and subjects. Currently, educators are using the game in classes from middle school to grad school at university level, across subjects as diverse as biology, environmental science, English, and philosophy. To provide additional educational scaffolding, a Teachers’ Guide to Cranky Uncle was published, offering a number of critical thinking activities to complement and reinforce the game’s content [33].

In recent years, misinformation has been an ever-present problem, affecting all aspects of society. Amplified by social media platforms and exacerbated by global developments such as the COVID-19 pandemic, the problem is complex, ubiquitous, and interconnected. Holistic solutions are required



Figure 4: Examples of quiz questions and achievement notification. (a) True/false. (b) Fallacy examples. (c) Multiple fallacies. (d) Notification when a player levels up.



Figure 3: Sample of “trail” screens, explaining techniques of science denial. (a) Denial techniques. (b) Explanation of fake experts. (c) Parallel argument in cartoon form illustrating fake experts. (d) Final screen of fake expert trail.

that can be scaled up to address the immensity of the challenge – interdisciplinary projects combining science, technology, and the arts. Art enables communicators to package scientific information in entertaining formats that engage the attention of disengaged audiences. Technology enables the dissemination of interactive games at a scale commensurate with the problem. Science provides evidence-based approaches for addressing misinformation such as research into logic-based inoculation and cartoon parallel arguments. The Cranky Uncle game brings

together these diverse threads, synthesizing research into inoculation, critical thinking, and science humor, wrapped in a technological package that makes critical thinking content accessible to players in an engaging, interactive format.

John Cook *Climate Change Communication Research Hub,*
Monash University

References

- [1] Ranney, M. A. & Clark, D. (2016). Climate Change Conceptual Change: Scientific Information Can Transform Attitudes. *Topics in Cognitive Science*, 8(1), 49-75.
- [2] Cook, J., Lewandowsky, S., & Ecker, U. K. H. (2017). Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence. *PLOS ONE*, 12, e0175799.
- [3] Biddle, J. B., & Leuschner, A. (2015). Climate skepticism and the manufacture of doubt: can dissent in science be epistemically detrimental? *European Journal for Philosophy of Science*, 5(3), 261-278.
- [4] Lewandowsky, S. (2020). Climate change, disinformation, and how to combat it. *Annual Review of Public Health*, 42.
- [5] McCright, A. M., Charters, M., Dentzman, K., & Dietz, T. (2016). Examining the effectiveness of climate change frames in the face of a climate change denial counter-frame. *Topics in Cognitive Science*, 8(1), 76-97.
- [6] van der Linden, S., Leiserowitz, A., Rosenthal, S., & Maibach, E. (2017). Inoculating the public against misinformation about climate change. *Global Challenges*, 1, 1600008.
- [7] Compton, J., Jackson, B., & Dimmock, J. A. (2016). Persuading others to avoid persuasion: Inoculation theory and resistant health attitudes. *Frontiers in Psychology*, 7, 122.
- [8] Maertens, R., Anseel, F., & van der Linden, S. (2020). Combatting climate change misinformation: Evidence for longevity of inoculation and consensus messaging effects. *Journal of Environmental Psychology*, 70, 101455.
- [9] Banas, J. A., & Miller, G. (2013). Inducing resistance to conspiracy theory propaganda: Testing inoculation and metainoculation strategies. *Human Communication Research*, 39(2), 184-207.
- [10] Vraga, E. K., Kim, S. C., Cook, J., & Bode, L. (2020). Testing the effectiveness of correction placement and type on Instagram. *The International Journal of Press/Politics*, 25(4), 632-652.
- [11] Schmid, P., & Betsch, C. (2019). Effective strategies for rebutting science denialism in public discussions. *Nature Human Behaviour*, 3, 931-939.
- [12] Hoofnagle, M. (2007, April 30). Hello Scienceblogs. Denialism Blog. Retrieved from <http://scienceblogs.com/denialism/about/>
- [13] Cook, J. (2021a). Deconstructing Climate Science Denial. In Holmes, D. & Richardson, L. M. (Eds.) *Edward Elgar Research Handbook in Communicating Climate Change*. Cheltenham: Edward Elgar.
- [14] Cook, J., Ellerton, P., & Kinkead, D. (2018). Deconstructing climate misinformation to identify reasoning errors. *Environmental Research Letters*, 13, 024018.
- [15] Juthe, A. (2009). Refutation by parallel argument. *Argumentation*, 23(2), 133-169.
- [16] Cook, J. (2020). *Cranky Uncle vs. Climate Change: How to Understand and Respond to Climate Science Deniers*. New York, NY: Citadel Press.
- [17] McKasy, M., Cacciatore, M. A., Yeo, S. K., Zhang, J. S., Cook, J., & Olaleye, R. M. (2021, August). The Impact of Emotion and Humor on Support for Global Warming Action. Annual Conference of the Association for Education in Journalism and Mass Communication (AEJMC), New Orleans, LA (virtual).
- [18] Brewer, P. R., & McKnight, J. (2015). Climate as comedy: The effects of satirical television news on climate change perceptions. *Science Communication*, 37(5), 635-657.
- [19] Boykoff, M., & Osnes, B. (2019). A laughing matter? Confronting climate change through humor. *Political Geography*, 68, 154-163.
- [20] Nabi, R. L., Moyer-Gusé, E., & Byrne, S. (2007). All joking aside: A serious investigation into the persuasive effect of funny social issue messages. *Communication Monographs*, 74(1), 29-54.
- [21] Bore, I. L. K., & Reid, G. (2014). Laughing in the face of climate change? Satire as a device for engaging audiences in public debate. *Science Communication*, 36(4), 454-478.
- [22] Skurka, C., Niederdeppe, J., Romero-Canyas, R., & Acup, D. (2018). Pathways of influence in emotional appeals: Benefits and tradeoffs of using fear or humor to promote climate change-related intentions and risk perceptions. *Journal of Communication*, 68(1), 169-193.
- [23] Kim, S. C., Vraga, E. K., & Cook, J. (2020). An Eye Tracking Approach to Understanding Misinformation and Correction Strategies on Social Media: The Mediating Role of Attention and Credibility to Reduce HPV Vaccine Misperceptions. *Health Communication*, 1-10.
- [24] Vraga, E. K., Kim, S. C., & Cook, J. (2019). Testing logic-based and humor-based corrections for science, health, and political misinformation on social media. *Journal of Broadcasting and Electronic Media*, 63, 393-414.
- [25] Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- [26] Girard, C., Ecalle, J., & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: How effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29, 207-219.
- [27] Blair, L., Bowers, C., Cannon-Bowers, J., & Gonzalez-Holland, E. (2016). Understanding the role of achievements in game-based learning. *International Journal of Serious Games*, 3(4), 47-56.
- [28] Paavilainen, J., Alha, K., & Korhonen, H. (2017). A review of social features in social network games. *Transactions of the Digital Games Research Association*, 3(2).
- [29] Roozenbeek, J., & van der Linden, S. (2018). The fake news game: actively inoculating against the risk of misinformation. *Journal of Risk Research*, 1-11.
- [30] Roozenbeek, J., & van der Linden, S. (2019). Fake news game confers psychological resistance against online misinformation. *Palgrave Communications*, 5(1), 12.
- [31] Roozenbeek, J., & van der Linden, S. (2020). Breaking Harmony Square: A game that "inoculates" against political misinformation. *The Harvard Kennedy School Misinformation Review*.
- [32] Imbellone, A., Botte, B., & Medaglia, C. (2015). Serious Games for Mobile Devices: the InTouch Project Case Study. *International Journal of Serious Games*, 2(1).
- [33] Cook, J. (2021b, January 27). The Teachers' Guide to Cranky Uncle. CrankyUncle.com. Available at <https://crankyuncle.com/teachers-guide-to-cranky-uncle/>

Die zehn häufigsten Klimamythen und wie man ihnen in der Schule begegnen kann

Thomas Schubatzky & Rainer Wackermann

Klimawissenschaftler*innen sind sich längst einig, dass der Klimawandel stattfindet und wir Menschen dafür hauptverantwortlich sind [1]. Dennoch trifft man im Alltag, in sozialen Medien oder generell im Web durchaus oft auf falsche Informationen aus naturwissenschaftlicher Sicht, die unser Klima betreffen, sogenannte „Klimamythen“. Die hohe Politisierung des Themas, insbesondere in Ländern wie den USA, trägt zur Verbreitung von Falschinformationen, „Fake News“ oder sogenannten Klimamythen bei. Studien konnten zeigen, dass sich derartige Falschinformationen sogar schneller ausbreiten als zutreffende Informationen [2]. Sollten im Unterricht Fragen zu diesen Klimamythen auftreten ist es nicht nur wichtig, die naturwissenschaftlichen Hintergründe der gängigsten Klimamythen zu kennen, sondern auch über Strategien zu verfügen, wie diese sinnvoll widerlegt werden können. In diesem Beitrag möchten wir daher einen Überblick geben, warum „Fake News“, Falschinformationen oder Klimamythen nicht ignoriert werden dürfen, welche Mythen gängig sind und wie man strategisch mit ihnen umgehen kann.

1. Warum Mythen oder Falschinformationen nicht ignoriert werden sollten

Falschinformationen oder Klimamythen sind falsche Informationen, die entweder irrtümlich oder mit Absicht verteilt werden. Werden diese Informationen tatsächlich mit einer Täuschungsabsicht verbreitet, spricht man auch von Desinformationen. Im Kontext des Klimawandels ist die Eindämmung von Falschinformationen besonders relevant, weil grundlegendes naturwissenschaftliches Wissen und Verständnis über den Klimawandel eine wichtige Voraussetzung für Handlungen darstellt [3]. Unterschiedliche Studien konnten zeigen, dass Falschinformationen oder Klimamythen durchaus dazu führen können, mögliche Effekte zutreffender Informationen entweder aufzuheben [4,5] oder zumindest stark abzuschwächen [6].

Desinformationen haben sogar das Potenzial, demokratische Prozesse zu stören. Das World Economic Forum etwa sieht die Verteilung von Desinformationen als eine der größten Risiken, die unsere Welt aktuell betrifft [7].

Das hat auch damit zu tun, dass für uns Menschen Vertrautheit und Wahrheit oftmals verknüpft sind: Wir tendieren dazu, Informationen eher zu glauben, wenn wir sie nur oft genug hören [8]. Falschinformationen oder Mythen sind außerdem häufig in emotionale Sprache eingebettet um Aufmerksamkeit zu erzeugen, ganz besonders in Online-Umgebungen [9].

Spannenderweise kommt hinzu, dass Korrekturen von Falschinformationen oder Mythen Menschen zwar dazu veranlasst, weniger an diese zu glauben, diese jedoch häufig weiterhin im Denken von Menschen fortbestehen. Ein gutes Beispiel: Der Glaube daran, dass die große Mauer in China vom Weltall aus zu sehen ist. Obwohl dieser Mythos schon häufig widerlegt wurde, hält er sich dennoch hartnäckig.

Wie also damit umgehen, wenn wir Mythen in persönlichen Gesprächen hören, in sozialen Medien darauf treffen oder Schüler*innen mit Fragen, die Mythen betreffen, kommen? In den letzten Jahren wurden viele neue Erkenntnisse gewonnen, wie Falschinformationen oder Mythen trotz widriger Umstände entgegengesetzt werden kann [10].

2. Richtig mit Mythen umgehen

Die einfachste und vermutlich eleganteste Variante, mit Mythen oder Falschinformationen umzugehen, ist, diese erst gar nicht Fuß fassen zu lassen. Hier gibt es unterschiedliche Ansätze und Strategien, die nützlich sind:

Einfache Warnungen davor, dass Schüler*innen auf Falschinformationen treffen können, kann davor schützen, später an diese Informationen zu glauben [11]. Eine gute Möglichkeit ist außerdem, erstmal die Vertrauenswürdigkeit von Quellen zu hinterfragen. Dazu wurden an der Universität Stanford auch bereits Unterrichtsmaterialien entwickelt (<https://cor.stanford.edu/>). Ein weiterer Zugang umfasst eine metaphorische „Impfung“, die aus einer Vorwarnung und einer präventiven Widerlegung der Falschinformation bzw. des Mythos besteht. Dieser Zugang zeigte sich in Studien auch als sehr effektiv um Schüler*innen dabei zu unterstützen, Informationen kritisch zu hinterfragen [6]. Diese sogenannte „Inokulation“ kommt auch im „cranky uncle mobile game“, welches in diesem Heft beschrieben wird, zum Einsatz.

Natürlich ist es nicht immer möglich, sich selbst und andere gegen Mythen oder Falschinformationen zu „impfen“ – in diesem Fall gilt es diese wirkungsvoll zu widerlegen. Es hat sich gezeigt, dass einfache Hinweise auf die Nicht-Korrektheit von Informationen oder Hinweise auf nicht vertrauenswürdige Quellen dafür oft nicht ausreichen. [10]. Ganz besonders, wenn diese im Alltag oder im Web weit verbreitet sind. Wie also reagieren, wenn Schüler*innen solche Mythen aus sozialen Medien in den Unterricht bringen und wissen wollen, was es damit auf sich hat? Im Handbuch „Widerlegen, aber richtig“ [10] wird beschrieben, dass Widerlegungen ganz besonders

dann erfolgreich sind, wenn die in Abbildung 1 dargestellten drei bzw. vier Schritte befolgt werden:

1. Mit den Fakten beginnen
 Wenn sich die Fakten einfach zusammenfassen lassen, sollte zuerst Zutreffendes klargestellt werden. Die Fakten sollten dabei eine plausible Alternativerklärung für den Mythos darstellen, dabei aber nach Möglichkeit nicht wesentlich komplexer sein als der Mythos selbst.
2. Vor dem Mythos/den Falschinformationen warnen
 Der Mythos selbst (also zum Beispiel, dass aktuelle Klimaveränderungen ausschließlich natürliche Ursachen hätten) sollte nur einmal erwähnt werden, und zwar kurz vor seiner Widerlegung.
3. Erklären, warum der Mythos falsch ist / warum ein Trugschluss vorliegt
 Eine gute Widerlegung weist nicht nur darauf hin, dass Informationen falsch sind, sondern erklärt auch warum. Besonders gut funktioniert hier auf argumentative Fehlschlüsse hinzuweisen. Beispiele dafür können im Beitrag von John Cook oder auf der Homepage klimafakten.de gefunden werden. Hinweise, warum die alternative Erklärung tatsächlich auch richtig ist, sind außerdem hilfreich.
4. Mit den Fakten enden
 Eine gute Widerlegung beginnt nicht nur mit den Fakten, sondern endet auch damit – gerade die Fakten sollen hängen bleiben.

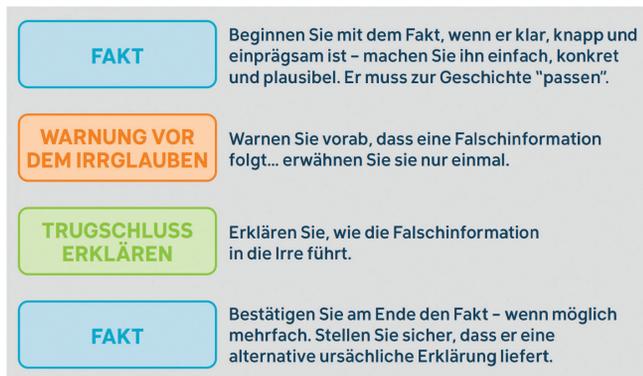


Abbildung 1: Struktur einer guten Widerlegung [10]

Diese vier Punkte sind nur eine generelle Richtlinie, ein wirklich gut ausgearbeitetes Beispiel kann im Handbuch „Widerlegen, aber richtig!“ [10] nachgelesen werden. Ein weiteres Beispiel findet sich in Kasten 1. Gesagt werden muss, dass auch

Widerlegungen, die sich an diesem Schema orientieren, nicht automatisch zu Erfolg führen müssen.

3. Zehn Klimamythen und was die Wissenschaft dazu sagt

Als Vorbereitung für Unterricht zum Thema Klimawandel wäre es ein beinahe unüberschaubarer Aufwand, bereits existierende Klimamythen zu recherchieren und selbständig effektive Widerlegungen zu entwickeln. Zum Glück gibt es hier die Homepage <https://www.skepticalscience.com/>, die von einem weltweitem Team von Freiwilligen betreut wird. Unter anderem werden dort gängige Klimamythen gesammelt und gemeinsam effektive Widerlegungen entwickelt – zum größten Teil sogar für unterschiedliche Zielgruppen. In Tabelle 1 findet sich eine Übersicht über zehn verbreitete Klimamythen und jeweiligen knappen Zusammenfassungen der Sicht der Wissenschaft. Ausführliche Widerlegungen sind auf der Homepage oder auch in einem frei zugänglichen Webinar „Making Sense of Climate Science Denial“ auf der Plattform EdX zu finden (<https://www.edx.org/course/making-sense-of-climate-science-denial>).

4. Ausblick

Das Thema Klimawandel zu unterrichten, bedeutet immer auch, sich ein Stück weit auf die Politisierung und die gesellschaftliche Kontroverse des Themas einzulassen. Besonders zum Klimawandel sind nach wie vor Falschinformationen oder Mythen unterwegs, auf die man sich als Lehrkraft aber gut vorbereiten kann. Sinnvoll ist, Schüler*innen bereits vorab das Werkzeug zur Verfügung zu stellen, um Klimamythen kritisch hinterfragen zu können. Sollten Schüler*innen bereits auf derartige Mythen getroffen sein, lohnt es sich, diese anhand der beschriebenen Struktur systematisch zu widerlegen. Für den Unterricht ist auch denkbar, Beiträge auf sozialen Medien, die Klimamythen enthalten, gemeinsam zu entkräften. So kann auf durchaus unterhaltsame Art und Weise einerseits fachliches Basiswissen zum Klimawandel erworben, aber auch kritisches Denken trainiert werden.

Thomas Schubatzky *Fachbereich Physikdidaktik, Universität Graz*
 Rainer Wackermann *AG Didaktik der Physik, Ruhr-Universität Bochum*

Tabelle 1: Überblick über zehn verbreitete Klimamythen und was die Wissenschaft dazu sagt. Die Mythen stammen von [skepticalscience.com/argument.php](https://www.skepticalscience.com/argument.php) und wurden sinngemäß übersetzt.

| Nr. | Klimamythos | Was die Wissenschaft sagt |
|-----|--|---|
| 1 | Das Klima hat sich schon immer verändert | Das Klima reagiert auf viele Einflüsse, intern und extern. Aktuell sind wir Menschen der dominierende Einfluss. |
| 2 | Die Sonne ist für aktuelle Klimaentwicklungen hauptverantwortlich. | In den letzten Jahrzehnten des Klimawandels haben sich die Sonnenaktivität und die Temperaturentwicklungen in entgegengesetzte Richtungen bewegt. |
| 3 | Die Auswirkungen des Klimawandels sind insgesamt eher positiv. | Global gesehen überwiegen die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Landwirtschaft, Tourismus, Gesundheit und Umwelt die positiven bei weitem. |

| | | |
|----|---|--|
| 4 | Klimawissenschaftler*innen sind sich nicht einig. | Unzählige unabhängige Studien haben gezeigt, dass Einigkeit in den Klimawissenschaften herrscht. Die meisten Studien finden einen Konsens von 97%. |
| 5 | Die Erde kühlt sich ab. | Alle Indikatoren unseren Klimasystems zeigen, dass sich die Erde erwärmt. |
| 6 | Klimamodelle sind unzuverlässig | Klimamodelle sind klarerweise mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, es können damit aber vergangene klimatische Veränderungen abgebildet werden. Projektionen von Klimamodellen wurden immer wieder durch Messungen bestätigt. |
| 7 | Temperaturmessungen sind unzuverlässig | Der Erderwärmungstrend ist in ländlichen und städtischen Gebieten gleich – dieser wird mit Thermometern und Satelliten gemessen. |
| 8 | Lebewesen (Pflanzen und Tiere) können sich anpassen | Der menschenverursachte Klimawandel passiert zu schnell, sodass sich viele Tier- und Pflanzenarten nicht anpassen können. Die aktuelle Erwärmung passiert etwa 20 bis 60 Mal so schnell, wie natürliche Erderwärmungen nach Eiszeiten. |
| 9 | Die CO ₂ -Konzentration folgt dem Temperaturverlauf. | Erderwärmungen nach einer Eiszeit werden durch Änderungen in der Erdumlaufbahn verursacht. Diese Erwärmung führt dazu, dass Ozeane CO ₂ freigegeben. Dieses CO ₂ verstärkt die Erwärmung zusätzlich. CO ₂ verursacht also eine Erwärmung und höhere Temperaturen führen zu einer höheren CO ₂ -Konzentration. Aktuell ist CO ₂ die Ursache für den Temperaturanstieg. |
| 10 | Die Antarktis gewinnt aktuell an Eis. | Das antarktische Meereis gewinnt aktuell tatsächlich an Eis, aber hauptsächlich bedingt durch den Verlust an Landeis der Antarktis, der immer schneller voranschreitet. |

Kasten 1: Beispiel für die Widerlegung des Mythos „KlimawissenschaftlerInnen sind sich nicht einig“

Mit den Fakten beginnen:

Klimaforschende sind sich einig – der Klimawandel findet statt und ist vom Menschen verursacht.

Annähernd 100% der Klimaforschenden stimmen der Aussage zu, dass der Klimawandel eine direkte Folge der Verbrennung fossiler Brennstoffe ist. Zu diesem Resultat kommen 97,1% aller wissenschaftlichen Forschungsartikel der letzten 21 Jahre in der Klimaforschung. Darüber hinaus gilt: Je höher die Klima-Expertise, desto höher der Konsens / die Zustimmung

Vor dem Mythos/den Fehlinformationen warnen:

Manche Menschen versuchen die Öffentlichkeit jedoch davon zu überzeugen, dass es unter den Wissenschaftler*innen Meinungsverschiedenheiten gibt. Diese Gruppen sind oft politisch motiviert. Eine solche Gruppe von Klimawandelleugner*innen hat zum Beispiel behauptet eine Unterschriftensammlung zu diesem Thema durchgeführt zu haben. Darin sollen über 31.000 „Wissenschaftler*innen“ die Regierung in den USA aufgefordert haben die Verbrennung von fossilen Brennstoffen nicht einzuschränken.

Erklären, warum der Mythos falsch ist / warum ein Trugschluss vorliegt

Das klingt vielleicht im ersten Moment überzeugend, beruht aber auf dem Heranziehen sogenannter Falscher Expert*innen. Mehrere unabhängige Studien kamen beispielsweise zu dem Schluss, dass viele der Unterschriften gefälscht waren. Es haben etwa der schon lange verstorbene Charles Darwin,

Mitglieder der Spice Girls und Charaktere aus Star Wars unterschrieben. Außerdem klingt 31.000 Unterschriften zwar nach einer großen Zahl. Sie entspricht aber nur 0,3% aller Menschen in den USA, die Naturwissenschaften studiert haben – also ein winziger Bruchteil. Schließlich haben fast alle echten Unterzeichner*innen kein vertieftes Fachwissen in den Klimawissenschaften. Insgesamt gaben weniger als 1% der Unterzeichner*innen an, Klima- oder Atmosphärenwissenschaften studiert zu haben. Nur weil sich jemand selbst als „Wissenschaftler*in“ bezeichnet, muss diese Person noch lange kein*e Expert*in in der Klimawissenschaft sein. In diese Falle sollte man aber nicht tappen: Praktisch alle Unterzeichnenden sind Falsche Expert*innen.

Diese Logik ist vergleichbar mit der bekannten Zahnpasta-Werbung, wo die Frau eines Zahnarztes, womöglich noch in Arzthelferinnen-Weiß gekleidet, die Wirksamkeit einer bestimmten Zahnpasta verkündet. Sie hat selbst keine Ahnung und ist daher ebenfalls eine Falsche Expertin (abgesehen von der geschlechterstereotypischen Darstellung).

Mit den Fakten enden:

Fakt ist: 97% aller tatsächlicher Klimawissenschaftler*innen, also tatsächlicher Expert*innen, stimmen zu, dass der Klimawandel aktuell stattfindet und vom Menschen verursacht ist. Dieser Meinung sind auch über 200 naturwissenschaftliche Organisationen auf der ganzen Erde. Das ist ein überwältigender Konsens, wie er selten in den Wissenschaften auftritt. Klimaforschende sind sich einig – der Klimawandel findet statt und ist vom Menschen verursacht.

Literatur

[1] Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R. L., Verheggen, B., Maibach, E., Carlton, J. S., Lewandowsky, S., Skuce, A. G., Green, S. A., Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, . 2016, 11(4), . S. 1-7.

[2] Vosoughi, S., Roy, D., Aral, S., The spread of true and false news online. *Science*, . 2018, 359(6380), . S. 1146–1151.

[3] Tobler, C., Visschers, V. H. M., Siegrist, M., Consumers' knowledge about climate change. *Climatic Change*, . 2012, 114(2), . S. 189–209.

[4] van der Linden, S., Leiserowitz, A., Rosenthal, S., Maibach, E., Inoculating the public against misinformation about climate change. *Global Challenges*, . 2017, 1(2), . S. 1-7

[5] McCright, A. M., Charters, M., Dentzman, K., Dietz, T., Examining the effectiveness of climate change frames in the face of a climate change denial counter-frame. *Topics in cognitive science*, . 2016, 8(1), . S. 76–97.

[6] Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Können wir SchülerInnen gegen Klimawandel-Desinformationen "impfen"? In: GDPC Jahrestagung 2020. *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Habig, S. (Hrsg.)*, . 2021, . GDPC: Duisburg-Essen, S. 250-253

[7] World Economic Forum, Outlook on the Global Agenda 2014 . 2013, . <http://reports.weforum.org/outlook-14/>, zuletzt geprüft am 24.03.2021

[8] Fazio, L. K., Brashier, N. M., Payne, B. K., Marsh, E. J., Knowledge does not protect against illusory truth. *Journal of Experimental Psychology: General*, . 2015, 144(5), . S. 993.

[9] Lorenz-Spreen, P., Lewandowsky, S., Sunstein, C. R., Hertwig, R., How behavioural sciences can promote truth, autonomy and democratic discourse online. *Nature human behaviour*, 2020, 4(11), . S. 1102–1109.

[10] Lewandowsky, S., Cook, J., Lombardi, D. 2020, et al., Widerlegen, aber richtig 2020. <https://skepticalscience.com/docs/DebunkingHandbook2020-German.pdf>, zuletzt geprüft am 24.03.2021

[11] Mena, P., Cleaning up social media: The effect of warning labels on likelihood of sharing false news on Facebook. *Policy & internet*, . 2020, 12(2), . S. 165–183.

Eine experimentelle Unterrichtseinheit zum Treibhauseffekt

Experimente mit der Wärmebildkamera & Co

Lisa Stinken-Rösner

Nicht zuletzt seit der „Fridays for Future“-Bewegung stellt der anthropogene Treibhauseffekt und der daraus resultierende Klimawandel ein omnipräsentes Thema in den Medien dar. Dabei kursieren verschiedenste Mythen (vgl. Schubatzky & Wackermann, dieses Heft), die für Schüler*innen häufig nicht als solche zu erkennen sind. Es ist daher wichtig, dass Schüler*innen zunächst die wissenschaftlichen Ursachen des Klimawandels verstehen, um davon ausgehend Mythen als solche identifizieren zu können.

Mit Hilfe der in diesem Beitrag vorgestellten Experimente können Schüler*innen unter Anleitung der Lehrkraft die dem natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt zugrundeliegenden Prozesse (Unterscheidung von Solar- und terrestrischer Strahlung, Strahlungsgleichgewicht, planetare Albedo, Absorption von Wärmestrahlung durch die Atmosphäre, Rückstrahlung der Atmosphäre, Folgen anthropogener Emissionen und Rückkopplungseffekte) untersuchen. Ursprünglich konzipiert als Schüler*innenlabor [1], können die Versuche jedoch auch individuell im Unterricht eingesetzt werden, um einzelne Aspekte in den Fokus der Schüler*innen zu rücken oder weit verbreitete Mythen aufzugreifen und zu widerlegen.

Der Einsatz von Wärmebildkameras beim Experimentieren ermöglicht es dabei, die Temperaturtopografie von Objekten mit einem geringen technischen Aufwand zu visualisieren und auf diese Weise thermische Phänomene, welche eine besondere Rolle für das Verständnis des Treibhauseffektes spielen, zu beobachten [2]. Wärmebildkameras, die an das Tablet/Smartphone angeschlossen werden können, stellen somit eine sinnvolle Ergänzung für jede Physiksammlung dar (siehe Kasten 1).

1. Eine Erde ohne Atmosphäre

Eine weit verbreitete Vorstellung ist, dass der Treibhauseffekt ein rein anthropogenes Phänomen sei [3]. Der natürliche Treibhauseffekt, der die Grundlage für das Leben auf der Erde darstellt, wird im alltäglichen Sprachgebrauch häufig nicht vom anthropogenen Treibhauseffekt unterschieden. Um die Bedeutung und die Folgen des natürlichen und anthropogenen Treibhauseffektes voneinander abzugrenzen, bietet es sich an, zunächst eine hypothetische Erde ohne Atmosphäre zu betrachten.

1.1 Solarstrahlung und terrestrische Strahlung

Grundlage für das Verständnis der verschiedenen Prozesse, welche zum natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt beitragen, ist die Unterscheidung zwischen dem kurzwelligen, sichtbaren Licht der Sonne und der von der Erdoberfläche (und der Atmosphäre, siehe Abschnitt 2) absorbierten und emittierten langwelligen, unsichtbaren Wärmestrahlung. Stellvertretend für diese Strahlungsquellen können im Unterricht handelsübliche LED-Glühbirnen und Wärmestrahler mit einer jeweiligen Leistung von 60 W eingesetzt werden. Achtung: Die „klassische“ Glühbirne emittiert sowohl Strahlung im sichtbaren als auch im IR-Bereich und ist somit nur bedingt geeignet! Betrachtet man die verschiedenen Strahlungsquellen mit dem bloßen Auge und der Wärmebildkamera, so wird deutlich, dass die LED- und die „klassische“ Glühbirne elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich des Spektrums emittieren, die „klassische“ Glühbirne und der Wärmestrahler (zusätzlich) im Infrarotbereich (Abb. 1).

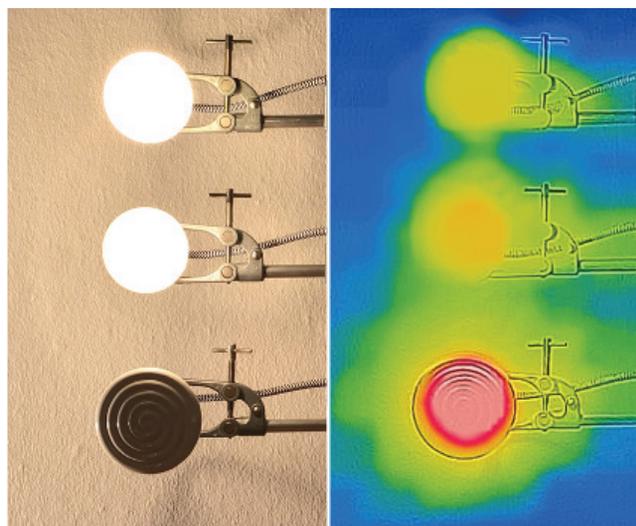


Abbildung 1: Blick auf eine LED (oben), eine „klassische“ Glühbirne (Mitte) und einen Wärmestrahler (unten) mit dem bloßen Auge (links) und mit der Wärmebildkamera (rechts)

Die LED-Glühbirne und der Wärmestrahler können somit stellvertretend für das Sonnenlicht bzw. die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung im Unterricht eingesetzt werden.

1.2 Planetare Albedo

Das sichtbare Licht, das von der Sonne zur Erde gelangt, wird von verschiedenen Oberflächen unterschiedlich stark absorbiert bzw. reflektiert. Im Mittel liegt die planetare Albedo bei 30 % [4], variiert jedoch je nach Material und Oberflächenbeschaffenheit. Zur Untersuchung der Albedo verschiedener Erdoberflächen eignet sich z. B. der Vernier GO DIRECT Farb- und Lichtsensor (siehe Kasten 2). Dieser wird ca. 10-15 cm über der Arbeitsfläche befestigt. Mit Hilfe der integrierten LED kann der Anteil des an verschiedenen Oberflächen reflektierten Lichtes mit dem Smartphone oder Tablet erfasst werden (Abb. 2).



Abbildung 2: Analyse der Albedo für verschiedene Oberflächen mit dem Vernier GO DIRECT Farb- und Lichtsensor.

Mit diesem einfachen Versuchsaufbau können Schüler*innen selbstständig die Albedo verschiedener Oberflächen untersuchen und auf Grundlage ihrer Ergebnisse diskutieren, wie sich eine Änderung der Oberflächentopografie (z. B. durch Abholzung der Regenwälder, Eisschmelze) auf die planetare Albedo und damit auf die Temperatur an der Erdoberfläche auswirken würde. Die Ergebnisse einer Beispielmessung sind in Tabelle 1 zusammengefasst, für die Referenzmessung wurde ein Spiegel verwendet.

Tabelle 1: Ergebnisse einer Beispielmessung zur Bestimmung der Albedo verschiedener Oberflächen

| Oberfläche | Intensität | Albedo |
|------------|------------|--------|
| Referenz | 189 lx | 1,00 |
| Sägespäne | 94 lx | 0,50 |
| Eis | 67 lx | 0,35 |
| Sand | 65 lx | 0,35 |
| Stein | 48 lx | 0,26 |
| Ton | 42 lx | 0,22 |

Nimmt man an, dass durchschnittlich 30 % der Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche reflektiert und 70 % absorbiert werden und zu einer Erwärmung der Erdoberfläche beitragen, so erhält man rechnerisch eine Oberflächentemperatur von $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Stefan-Boltzmann-Gesetz) [4]. Erst unter Berücksichtigung des Strahlungsgleichgewichtes der Erde mit Atmosphäre und dem daraus resultierenden natürlichen Treibhauseffekt ergibt sich eine durchschnittliche Oberflächentemperatur von $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, die der Realität entspricht.

2. Der natürliche Treibhauseffekt

Die kurzwellige, sichtbare Sonnenstrahlung erreicht fast ungehindert die Erdoberfläche nach dem Passieren der Atmosphäre (Transmission), wird dort teilweise zurück ins Weltall reflektiert (planetare Albedo) oder von der Erdoberfläche absorbiert. Die daraufhin von der Erdoberfläche emittierte langwellige Wärmestrahlung wird hingegen von verschiedenen Spurengasen (z. B. Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Ozon (O_3) und Methan (CH_4)) in der Atmosphäre zu einem Großteil absorbiert [4]. Dieses Phänomen lässt sich experimentell demonstrieren indem man eine Plexiglasscheibe vor den Strahlungsquellen aus Abb. 1 (LED-, „klassische“ Glühbirne und Wärmestrahler) platziert, so dass diese teilweise oder komplett verdeckt werden (Abb. 3). Im Gegensatz zum sichtbaren Licht wird Strahlung im infraroten Spektralbereich durch die Plexiglasscheibe absorbiert. Die Plexiglasscheibe ist, genauso wie die Atmosphäre, undurchlässig für IR-Strahlung (Abb. 3b). Nach kurzer Zeit lässt sich zudem beobachten, wie sich die Plexiglasscheibe insbesondere auf Höhe des Wärmestrahlers erwärmt, auf Höhe der LED ist die Temperaturänderung im Vergleich dazu vernachlässigbar. Dieser Effekt wird noch deutlicher sichtbar, wenn die Plexiglasscheibe aus dem Versuchsaufbau entfernt und ihre Temperaturtopografie einzeln mit der Wärmebildkamera aufgenommen wird (Abb. 3c).

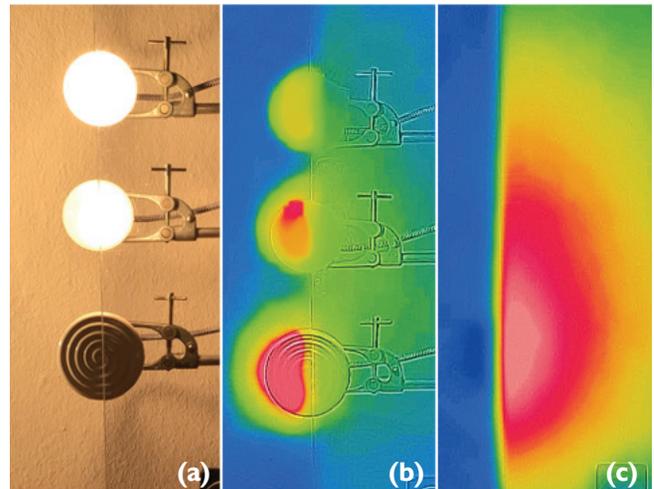


Abbildung 3: Blick auf eine zur Hälfte von einer Plexiglasscheibe verdeckten LED- (oben), eine „klassische“ Glühbirne (Mitte) und einen Wärmestrahler (unten). Sichtbares Licht gelangt nahezu ungehindert durch das Plexiglas (a). IR-Strahlung wird von der Platte absorbiert (b), diese sich erwärmt und emittiert selbst IR-Strahlung (c).

Die an diesem Versuch gemachten Beobachtungen lassen sich auf die Strahlungsprozesse in der Atmosphäre übertragen. Die durch die Spurengase und den Wasserdampf in der Atmosphäre aufgenommene terrestrische Wärmestrahlung führt zu einer Erwärmung der Atmosphäre und einer damit einhergehenden Emission von Wärmestrahlung sowohl ins Weltall als auch zurück auf die Erdoberfläche. Die zur Erdoberfläche gerichtete Strahlungskomponente wird oft als Gegenstrahlung oder Rückstrahlung der Atmosphäre bezeichnet.

2.1 Rückstrahlung der Atmosphäre

Die Rückstrahlung der Atmosphäre trägt zu einer weiteren Erwärmung der Erdoberfläche bei. Genauso wie das kurzwellige, sichtbare Sonnenlicht wird auch IR-Strahlung durch verschiedene Oberflächen unterschiedlich stark reflektiert bzw. absorbiert (vgl. Abschnitt 1.2). Die Albedo hängt neben dem Material und dessen Oberflächenbeschaffenheit auch von der Wellenlänge der einfallenden elektromagnetischen Strahlung ab. Die Erwärmung unterschiedlicher Oberflächen durch IR-Strahlung lässt sich mit dem in Abb. 4 dargestellten Versuchsaufbau untersuchen.



Abbildung 4: Absorption von Wärmestrahlung durch unterschiedliche Oberflächen. Der gleiche Versuchsaufbau kann ebenfalls genutzt werden, um die Absorption von sichtbarem Licht durch verschiedene Oberflächen zu untersuchen, die resultierenden Temperaturänderungen fallen jedoch wesentlich geringer aus.

Ein Wärmestrahler wird mittig ca. 15-20 cm über verschiedenen Oberflächenproben befestigt. Nach einer Bestrahlungsdauer von 5 Minuten werden die Proben aus dem Versuchsaufbau entfernt (auch die Tischoberfläche erwärmt sich, wodurch die Effekte schwerer zu erkennen sind) und mit der Wärmebildkamera betrachtet (Abb. 5).

Der stärkste Temperaturanstieg ist für Ton und Stein zu beobachten. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den zuvor bestimmten Albedo-Werten für die verschiedenen Oberflächen (Tab. 1), wird der Zusammenhang von Reflexion und Absorption deutlich: Je stärker eine Oberfläche elektromagnetische Strahlung reflektiert, desto geringer erwärmt sie sich und vice versa.

Prinzipiell kann der gleiche Versuchsaufbau auch genutzt werden, um die Erwärmung der Erdoberfläche aufgrund des Sonnenlichtes zu untersuchen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass trotz gleicher Leistung der Strahlungsquellen (60 W) die

beobachteten Temperaturänderungen der Oberflächenproben geringer ausfallen und eine deutlich längere Bestrahlungsdauer notwendig ist.

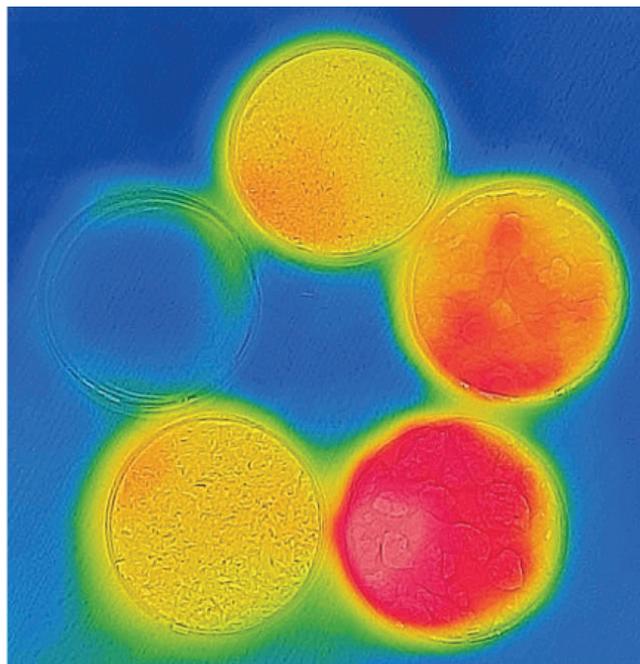


Abbildung 5: Blick mit der Wärmebildkamera nach einigen Minuten: Unterschiedliche Oberflächen erwärmen sich unterschiedlich stark. Die höchste Temperaturänderung konnte für Ton und Stein beobachtet werden (vgl. auch Tabelle 1).

Diese zusätzliche Erwärmung der Erdoberfläche durch die Rückstrahlung der Atmosphäre (und die dadurch ebenfalls resultierenden Rückkopplungseffekte zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche) ist entscheidend für den natürlichen Treibhauseffekt, durch den ein Leben auf der Erde erst möglich wird.

3. Der anthropogene Treibhauseffekt

Seit der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts begann die Menschheit sich weg vom Agrarwesen und hin zur industriellen Produktion zu wenden. Einhergehend damit nahm die Konzentration der verschiedenen Spurengase in der Atmosphäre stetig zu, wodurch sich der Energiehaushalt der Erde verändert. Durch die erhöhten Treibhausgaskonzentrationen ist die Atmosphäre in der Lage mehr langwellige Infrarotstrahlung von der Erdoberfläche zu absorbieren. Dies führt zu einer stärkeren Erwärmung der Atmosphäre selbst und demzufolge auch einer erhöhten Rückstrahlung zur Erdoberfläche. Seit 1980 ist ein signifikanter Anstieg der mittleren Atmosphärentemperatur und der Temperatur auf der Erdoberfläche zu beobachten [4].

Wie sich die gestiegene Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf das Strahlungsgleichgewicht der Erde auswirkt, lässt sich anhand des folgenden Versuches demonstrieren (Abb. 6).



Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Demonstration des anthropogenen Treibhauseffektes.

Ein Wärmestrahler wird mit der Wärmebildkamera beobachtet (Abb. 7a), nacheinander werden ein mit Luft (Abb. 7b) und CO_2 (Abb. 7c) gefüllter Luftballon zwischen der Strahlungsquelle und der Wärmebildkamera platziert. Die mit der Wärmebildkamera gemessene Temperatur des Wärmestrahlers reduziert sich nicht durch das Einbringen des mit Luft gefüllten Luftballons in den Versuchsaufbau (Abb. 7a und b), jedoch ist hier zu berücksichtigen, dass der maximale Messbereich der verwendeten Wärmebildkamera (FLIR ONE Gen 3, siehe Kasten 1) überschritten wurde. Bei Einbringen des mit CO_2 gefüllten Luftballons in den Versuchsaufbau ist eine deutliche Temperaturreduktion erkennbar (Abb. 7c). Das Kohlenstoffdioxid im Luftballon absorbiert die von der Strahlungsquelle emittierte IR-Strahlung und erwärmt sich (Abb. 7d).

Alternativ kann auch eine mit Luft bzw. CO_2 gefüllte Pappröhre, deren Enden mit Frischhaltefolie verschlossen sind, für diesen Versuch genutzt werden [1]. Bei der Erprobung hat sich jedoch gezeigt, dass mit den Luftballons ein stärkerer Effekt erzielt werden kann.

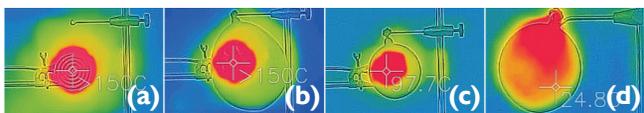


Abbildung 7: Demonstration des anthropogenen Treibhauseffektes mit Hilfe der Wärmebildkamera: (a) direkter Blick auf den Wärmestrahler (keine Atmosphäre), (b) mit Luft gefüllter Luftballon zwischen Wärmestrahler und Wärmebildkamera, (c) mit CO_2 gefüllter Luftballon zwischen Wärmestrahler und Wärmebildkamera (anthropogener Treibhauseffekt), (d) mit CO_2 gefüllter Luftballon nach wenigen Minuten.

3.1 Folgen des anthropogenen Treibhauseffektes

Die wahrscheinlich bekannteste Folge des anthropogenen Treibhauseffektes stellt der Klimawandel und die damit einhergehenden extremen Wetterphänomene auf der Erde dar. Insbesondere der Temperaturanstieg auf der Erdoberfläche, das Schmelzen von Eismassen und der damit verbundene Anstieg des Meeresspiegels zählen zu den meistverbreiteten Schüler*innenvorstellungen (siehe Schubatzky et al. in diesem Heft). Dabei unterscheiden Lernende häufig jedoch nicht zwischen unterschiedlichen Arten von Eis. Im Gegensatz zum Festlandeis, erhöht sich der Meeresspiegel nicht durch das alleinige Schmelzen von Eisbergen, wie ein einfacher Modellversuch zeigt (Abb. 8).



Abbildung 8: Folgen des Klimawandels: Einfluss des Eisschmelzens auf den Meeresspiegel und Eis-Albedo-Rückkopplung, die unter dem Eis liegenden Oberschichten werden dem Sonnenlicht ausgesetzt (vgl. Abschnitt 1.2).

Dennoch trägt auch das Schmelzen von Eisbergen zu einer Verstärkung des Klimawandels bei: Eis und Schnee haben eine hohe Albedo, wodurch sie einen Großteil des einfallenden Sonnenlichtes zurück ins Weltall reflektieren. Durch die erhöhte Temperatur auf der Erdoberfläche schmelzen die Eismassen und die darunterliegenden Oberflächen werden dem Sonnenlicht ausgesetzt. Diese Oberflächen (meistens Wasser, Sand oder Gestein) haben eine niedrigere Albedo und absorbieren mehr Sonnenlicht, was in einer stärkeren Erwärmung der Erdoberfläche resultiert. Dieser Effekt wird auch als *Eis-Albedo-Rückkopplung* oder *Polare-Verstärkung* des Klimawandels bezeichnet.

Ein weiterer Verstärkungseffekt ist die sogenannte *Wolkenrückkopplung*. Aufgrund der ansteigenden Temperaturen an der Erdoberfläche nimmt die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre zu und eine stärkere Wolkenbildung ist zu

beobachten [4]. Wasserdampf stellt eines der bedeutendsten Treibhausgase dar und verstärkt die *Rückstrahlung der Atmosphäre* zusätzlich, was zu einem weiteren Temperaturanstieg auf der Erdoberfläche führt. Gleichzeitig wirkt die vermehrte Wolkenbildung der globalen Erwärmung entgegen, da ein größerer Anteil des einfallenden Sonnenlichts reflektiert wird und nicht zur Erdoberfläche gelangt. Aktuell herrscht unter Klimaforscher*innen noch keine Einigkeit, welcher dieser Effekte überwiegt.

4. Verstehen heißt nicht automatisch Handeln

Die in diesem Beitrag vorgestellten Versuche helfen Schüler*innen dabei, die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse sowie potentielle Folgen des (natürlichen und) anthropogenen Treibhauseffektes zu verstehen. Dies allein genügt jedoch nicht, ihr Verhalten auch nachhaltig zu verändern. Ein mangelndes Bewusstsein für Risiken und Konsequenzen, die Unterschätzung des eigenen Einflusses sowie das im Allgemeinen nur schwere Ändern von Gewohnheiten, stellen Barrieren für Schüler*innen dar [4]. Es ist daher wichtig mit Hilfe von konkreten Beispielen aus der Lebenswelt der Schüler*innen Anlässe zu schaffen, Schüler*innen zur Reflexion über ihr Handeln und dessen Folgen für die Umwelt anzuregen und so ein Bewusstsein für eine nachhaltigere Lebensweise zu wecken.

Lisa Stinken-Rösner *Leuphana Universität
Lüneburg, Didaktik der Naturwissenschaften*

Literatur

- [1] Stinken, L. (2012). Erprobung und Weiterentwicklung von Materialien für ein Schülerlabor zum Thema Klimawandel (unveröffentlichte Masterarbeit). Universität Bremen.
- [2] Stinken-Rösner, L. (2021). Der „verlorenen“ Energie auf der Spur – Einsatzmöglichkeiten von Wärmebildkameras im Physikunterricht. In J. Meßinger-Koppelt & J. Maxton-Küchenmeister (Hrsg.), *Naturwissenschaften digital – Toolbox für den Unterricht*, Band 2, (S. 24-27). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- [3] Parchmann, I. (1997): Treibhauseffekt und Ozon – Experimentelle Konzepte zur Behandlung von Gebieten der globalen Herausforderung als Themen eines zeitgemäßen Chemieunterrichts (Dissertation). Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- [4] Scorza, C., Lesch, H., & Strähle, M. (2020). Der Klimawandel: Verstehen und Handeln. *Plus Lucis*, 3/2020, 4-8.

Kasten 1: Eckdaten zur genutzten Wärmebildkamera FLIR ONE Gen 3. Für detaillierte Hinweise zur Bedienung der Wärmebildkamera siehe [2].

| | |
|------------------------------------|--|
| Modell: | FLIR ONE Gen 3 |
| Preis: | Ab ca. 250 € |
| Betriebssystem: | Android & iOS |
| Gerätetyp: | Smartphone & Tablet |
| Bildauflösung: | 80x60 px (IR-Bild) 1440x1080 px (Reales Bild) |
| Messbereich: | -20 °C bis 120 °C |
| Auflösung: | 0,1 °C |
| Messgenauigkeit: | ±3 % bis ±5 % |
| Auswählbare Emissionsgrade: | $\varepsilon = 0,95; 0,80; 0,60; 0,30$ |
| App: | FLIR ONE (kostenlos) |

Kasten 2: Eckdaten zum genutzten Vernier GO DIRECT Farb- und Lichtsensor.

| | |
|-------------------------|---|
| Modell: | Vernier GO DIRECT Farb- und Lichtsensor (GDX-LC) |
| Preis: | Ab ca. 150 € |
| Betriebssystem: | Android, iOS, macOS, Windows |
| Gerätetyp: | Smartphone, Tablet, Notebook, Desktop-PC |
| Messbereich: | Bis 150.000 lx |
| Messgenauigkeit: | ±0, % bis ±5 % |
| Kanäle: | 615 nm (rot) 525 nm (grün) 465 nm (blau) 320-375 nm (UV) |
| App/Programm: | Graphical Analysis 4 (kostenlos) |

Wetter und Klima unter die Lupe genommen

Einsatz eines Tools mit vereinfachter Darstellung realer Daten – eine Unterrichtssequenz

Ingrid Krumphals, Maria Teresa Schwarz & Rosmarie de Wit

1. Einleitung

Das Thema Wetter begleitet uns täglich durch diverse Wetterprognosen, die wir im Radio, im Fernsehen oder über das Smartphone konsumieren. Wir richten u. a. unseren Kleidungsstil nach dem prognostizierten Wetter aus. Auch nehmen wir Wetterveränderungen, bspw. Temperaturschwankungen aktiv wahr und interpretieren diese individuell als unterschiedlich angenehm.

Das Thema Wetter steht derzeit auch häufig im Zuge der Klimawandeldebatte im Fokus. Beispielsweise wenn ehemalige US-Präsidenten sich die „gute alte Erderwärmung“ zurückwünschen, weil ein paar ungewöhnlich kalte Tage zu erwarten sind (siehe z. B. [1, 2]), wobei die Konzepte Wetter und Klima verwechselt werden. Deshalb ist die Bedeutung des Unterschiedes von Wetter und Klima vor allem im Physikunterricht ein ganz wesentlicher Aspekt, damit unsere Schüler*innen fundiert an der Klimawandeldebatte teilnehmen können.

Der vorliegende Beitrag fokussiert genau diesen Diskursbereich der Unterschiede zwischen Wetter und Klima. Ein erster Unterrichtsentwurf für den Physikunterricht der 3. Klasse (Sek I) zur Unterscheidung von Wetter und Klima wird vorgestellt und Erfahrungen aus der ersten Erprobung geschildert.

2. Hintergrund zur Unterrichtssequenz

2.1 Lehrplan & Kompetenzmodell

Das Thema *Wetter und Klima* ist im Unterstufenlehrplan Physik in der 3. Klasse folgendermaßen verankert: „Einsichten in globale und lokale Wettervorgänge und Klimaerscheinungen gewinnen (Jahreszeit, Wasserkreislauf auf der Erde, Meeresströmungen, Windsysteme)“ [3]. Außerdem ist es vor allem im Kontext von Wetter und Klima möglich, das Modelldenken im Unterricht explizit zu thematisieren und den Stellenwert von Modellen für Wissenschaft, Forschung und Gesellschaft zu erarbeiten.

In Bezug auf das Kompetenzmodell NaWi 8 lässt sich die Unterrichtssequenz der Inhaltsdimension P3 (Wärmelehre) zuordnen. Zudem wird in der Unterrichtssequenz vor allem auf den Handlungsbereich „Schlüsse ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln“ [4] fokussiert.

2.2 Fachliches zu Wetter und Klima

Für die Betrachtung von Wetter- und Klima nehmen die gleichen Messgrößen, wie Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit,

Sonnenschein, Wind und Niederschlag, eine tragende Rolle ein. Unterschieden werden Wetter- und Klimaphänomene jedoch vor allem in Bezug auf ihre zeitliche Skala. [5]

Wetter wird als „aktueller Zustand der Atmosphäre“ bezeichnet (Zeitskala von Stunden bis Wochen) [5]. Klima wird als „typischer Zustand der Atmosphäre“ definiert und umfasst daher viel längere Zeiträume (Jahrzehnte bis erdgeschichtliche Zeitskalen) [6]. In der Klimaforschung wurden zur besseren internationalen Vergleichbarkeit Klimanormalperioden festgelegt, welche 30-jährige Zeiträume umfassen (z. B.: 1961-1990 oder 1981-2010) [7]. Die aktuellste Klimanormalperiode von 1991 bis 2020 wird derzeit für Österreich berechnet (Stand 3.2021) und alsbald zur Verfügung gestellt [8].

Die Unterschiede zeigen sich auch in der Zielsetzung von Meteorolog*innen, die sich mit Wetter beschäftigen, und Klimaforscher*innen. So ist es für Meteorolog*innen besonders wichtig eine möglichst genaue Wettervorhersage für einen bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt zu tätigen [9]. Kaum jemanden interessiert eine ungenaue Wetterprognose, die wenig über den gewünschten Standort zum jeweiligen Zeitpunkt verrät – schließlich möchte man wissen, ob es heute nachmittags bei der Gartenparty regnet oder nicht.

Umgekehrt ist aber für Klimaforscher*innen von Bedeutung, wie sich das Klima im Laufe von vielen Jahren ändert bzw. verhält (in Bezug auf das klimatologische Mittel). So ist beispielsweise das Klima bei der Waldbewirtschaftung von Bedeutung, da Waldbestände in ihrem Wachstum längere Zeitperioden benötigen und das Klima auf die Vegetation längerfristige Auswirkungen zeigt (z. B.: [10]). Hierbei wird zum Beispiel auf Mittelwerte zurückgegriffen (z. B. die mittlere Temperatur oder durchschnittliche Regenmengen). Auch Extrema und Schwankungen werden herangezogen, etwa die Zahl der Hitzetage oder die Intensität von Starkniederschlägen. Hierbei geht es jedoch um statistische Werte über einen längeren Zeitraum, und nicht um eine Einschätzung des genauen Wetters an einem bestimmten Tag in der Zukunft. D.h. die Feinauflösung zeitlicher Ebene unterscheidet die Betrachtungen bzgl. Wetter und Klima ganz massiv.

2.3 Grundideen der Unterrichtssequenz

Der anschließend vorgestellten Unterrichtssequenz liegen folgende Ideen zugrunde:

- Wetter ist ein Naturphänomen, das sich auf den aktuellen (kurze Zeitspanne – Stunden bis Wochen) und meist kleinräumigen (an bestimmten geografischen Orten) Zustand der Atmosphäre bezieht.
- Klima ist ein Naturphänomen, das den durchschnittlichen Zustand der Atmosphäre über große Zeiträume (viele Jahre bis zu Zeitaltern der Erdgeschichte) und Regionen beschreibt.
- Klimaperioden von jeweils 30 Jahren wurden festgelegt, um leichtere internationale Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus der Wissenschaft herzustellen.
- Wetter- und Klimamodelle verfolgen unterschiedliche Ziele.
- Wetter und Klima stützen sich auf Daten, die an unterschiedlichen Orten in festgelegten Zeitintervallen detektiert werden.
- Die umfangreichen Daten der Messstationen ermöglichen es, aktuelle Wettersituationen mit vorangegangenen Klimaperioden direkt zu vergleichen und aktuelle Abweichungen zu Klimaperioden in Beziehung zu setzen.
- Die Wahrnehmung des Menschen ist sehr subjektiv und wir sind keine verlässlichen Messgeräte, um Rückschlüsse auf das Klima zu ziehen.

2.4 Konzeption der Unterrichtssequenz

Die Unterrichtssequenz wurde für die Sek I (3. Klasse) für insgesamt 3 Unterrichtsstunden (à 50 min) konzipiert. Dabei sind folgende Lernziele wesentlich:

- Die Schüler*innen können den Unterschied zwischen Wetter und Klima (vor allem hinsichtlich der zeitlichen Komponente) erklären.
- Die Schüler*innen können Vermutungen (der Begriff Vermutung wird in der Unterrichtssequenz immer im Sinne des Begriffs Hypothese verwendet) zu subjektiven Wahrnehmungen bzw. Alltagserfahrungen im Kontext Wetter und Klima mit dem Fokus auf die physikalische Größe der Temperatur formulieren.
- Die Schüler*innen können ihre Vermutungen mithilfe realer Daten (mittels des Klimamonitoring-Tools der ZAMG) überprüfen und dabei Daten sachgemäß interpretieren.
- Die Schüler*innen können die Begriffe Wetter und Klima im Alltag in Bezug auf deren fachlich angemessenen Einsatz einschätzen und inadäquaten Gebrauch der Begriffe identifizieren und berichtigen.

Um die Unterrichtssequenz (ein Überblick ist in Tabelle 1 zu finden) erfolgreich in den Unterricht einzubinden, sollten die Schüler*innen bereits Diagramme lesen und interpretieren können sowie den Begriff der Temperatur kennen und physikalisch deuten können. Außerdem ist von Vorteil, wenn die Schüler*innen mit digitalen Ressourcen umgehen können.

Tabelle 1: Ablaufplan der Unterrichtssequenz

| |
|--|
| <p>Einstieg (30 min) – Plenum und Einzelarbeit Aktivieren von Erfahrungen der Schüler*innen Physikalische Messgrößen zum Thema Wetter wiederholen und erarbeiten</p> |
| <p>Comic (20 min) – Erarbeitung in Kleingruppen Vermutungen aufstellen und formulieren</p> |
| <p>Comic (20 min) – Plenum Sammlung und Diskussion zu den aufgestellten Vermutungen Identifizierung der die Aussagen verbindenden Messgröße <i>Temperatur</i> Fachliche Klärung des Unterschieds von Wetter und Klima (inkl. Klärung der Begriffe Durchschnitt und Schwankung bzw. Abweichung)</p> |
| <p>Analyse mit Hilfe des Klimamonitorings (60 min) – Team-/ Einzelarbeit Interpretation und Analyse von aufgestellten Vermutungen mit Hilfe von realen Messdaten</p> |
| <p>Sicherung und Transfer (20 min) – Einzel-/Teamarbeit Einschätzung von Schlagzeilen aus Medien Reflexion über Aussagen zum Thema Klima</p> |

Den Einstieg in die Unterrichtssequenz bilden die subjektiven Wahrnehmungen der Schüler*innen zum Sommer 2020, der in den Medien für uns als eher untypischer, kalter Sommer dargestellt wurde (z. B.: [11,12]) wobei der Sommer in Wirklichkeit der vierzehntwärmste der österreichischen Messgeschichte war [13]. Basierend auf den gesammelten Eindrücken der Schüler*innen werden wichtige physikalische Größen (z. B.: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck) zu Wetter und Klima wiederholt bzw. erarbeitet. Dabei wird die Bedeutung von objektiver Messbarkeit herausgestrichen. Anschließend wird den Schüler*innen ein Comic (siehe Abbildung 1: Comic - Gespräch über den Sommer 2020 (Bildquelle Comicfiguren: Pixabay)) zu einem Gespräch unter Freund*innen vorgelegt, zu welchem überprüfbare Vermutungen formuliert werden sollen. Diese werden anschließend mithilfe des Klimamonitorings der ZAMG [14] überprüft (als Unterstützung zum Einsatz des Tools wurde ein Informationsblatt zur Verfügung gestellt). Dieses stellt aufbereitete, meteorologische und klimatologische Daten für Österreich zur Verfügung (siehe Abbildung 3: Beispieldarstellung des Klimamonitorings für den Sommer in den Jahre 2020 und 2019). Die Schüler*innen haben so die Möglichkeit mit einem Tool zu arbeiten, das relativ einfach zu bedienen ist, welchem aber konkrete Messdaten zu Grunde liegen. Zusätzlich soll dabei deutlich werden, dass subjektive Eindrücke nicht immer mit der Realität übereinstimmen. Nach einer gemeinsamen Besprechung der Ergebnisse der Analysen der Schüler*innen im Plenum bildet eine Transferaufgabe den Abschluss der Unterrichtssequenz. Dabei soll eine Schlagzeile einer Tageszeitung („Was vor 1990 ein Extremsommer gewesen wäre, ist heute ein ganz normaler“ [15]) mithilfe des erarbeiteten Wissens eingeschätzt und eine fiktive Schlagzeile für den Sommer des Jahres 2050 formuliert werden.

Außerdem wird am Ende der Unterrichtssequenz ein anonymes Feedback der Schüler*innen über die Lernplattform eingeholt.

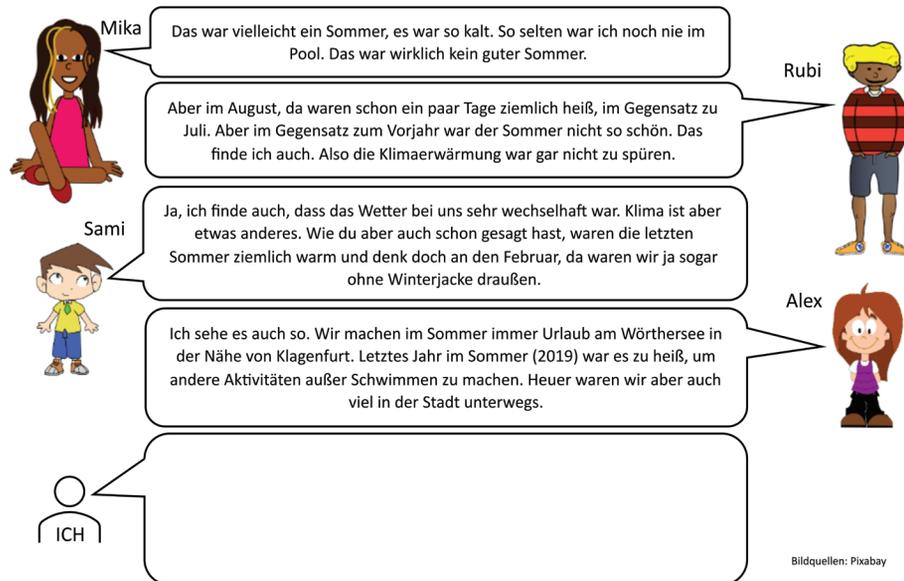


Abbildung 1: Comic - Gespräch über den Sommer 2020 (Bildquelle Comicfiguren: Pixabay)

3. Erfahrungen aus dem Einsatz im Unterricht

Die Unterrichtssequenz wurde in zwei 3. Klassen im Realgymnasium eingesetzt. Aufgrund der Rahmenbedingungen Anfang 2021 fand die Durchführung im Distance-Learning mittels Videokonferenz und unterstützt durch die Lernplattform Moodle statt. Im Folgenden werden konkrete Erfahrungen aus der Praxis geteilt.

3.1 Vermutungen aufstellen

Das Aufstellen und Formulieren von Vermutungen stellte für die Schüler*innen eine Schwierigkeit dar. In der ersten Erprobungsklasse wurden die Vermutungen sehr ähnlich den Aussagen der Freund*innen formuliert und hatten wenig mit überprüfbaren objektiven Aussagen gemein. Aus diesem Grund wurde bei der zweiten Erprobungsklasse die Vorgehensweise leicht angepasst. Eine vorgegebene Aussage und Vermutung des Arbeitsblattes wurde intensiver durchbesprochen und ein Augenmerk auf die allgemeine Formulierung der Vermutung und damit auf eine objektive Überprüfbarkeit gelegt. Außer-

Sami

| | |
|--------------------|--|
| Vermutung | In den letzten Sommern waren die Temperaturen überdurchschnittlich hoch, auch im Februar. |
| Überprüfung | Mit der Aussage, dass die Temperaturen in den letzten Sommern überdurchschnittlich hoch waren, hat er recht. Die Temperaturanstiege im Vergleich zum Durchschnitt der Klimaperiode von 1981 bis 2010 lagen in den Jahren von 2017 bis 2019 bei 0.5°C bis 3.5°C, im Jahr 2020 hingegen nur bei 0.5°C bis 1.5°C. Auch im Februar 2019 lagen die Temperaturwerte über dem Durchschnitt, allerdings sind sie im Vergleich zu den letzten Jahren außer dem Jahr 2018 nicht höher. |

Alex

| | |
|--------------------|---|
| Vermutung | Die Temperaturen im Sommer 2019 waren höher als die Temperaturen im Sommer 2020. |
| Überprüfung | Seine Aussage ist richtig, die Temperaturen sowohl im Sommer 2019 als auch im Sommer 2020 lagen über dem Durchschnitt während der Klimaperiode von 1981 bis 2010. Doch im Jahr 2019 liegt der Anstieg bei ungefähr 2.7°C, im Sommer 2020 bei nur ca. 0.8°C. |

Sami

| | |
|--------------------|--|
| Vermutung | Das Wetter war etwas wechselhaft, aber trotzdem war es etwas heißer als normalerweise. |
| Überprüfung | Das Wetter war wechselhaft, aber trotzdem gab es heiße Tage. |

Alex

| | |
|--------------------|--|
| Vermutung | Letztes Jahr war der Sommer 2019 viel zu heiß, man konnte keine andere Aktivität außer Schwimmen machen. Doch im Sommer 2020 konnte man auch in die Stadt gehen. |
| Überprüfung | Einerseits hat sie recht, aber trotzdem war es ein normaler Sommer. |

Abbildung 2: Beispielantworten der Schüler*innen zu den Vermutungen und der Überprüfung mithilfe des Klimamonitorings (Bildquelle Comicfigur: Pixabay)

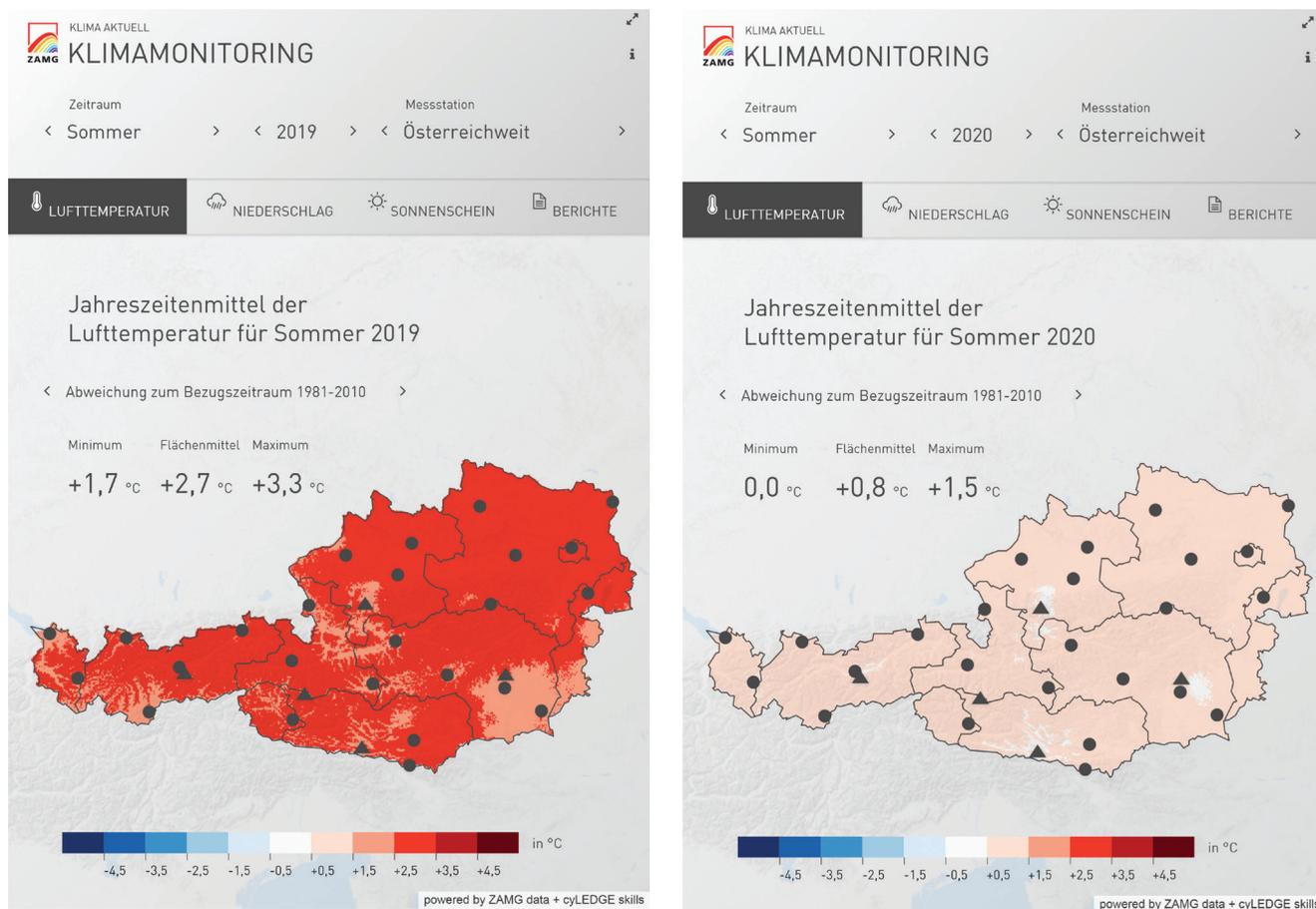


Abbildung 3: Beispieldarstellung des Klimamonitorings für den Sommer in den Jahren 2019 und 2020

dem wurde den Schüler*innen nach der Besprechung der Vermutungen im Plenum eine Musterlösung zu diesen zur Verfügung gestellt. Positiv ist herauszuheben, dass die Schüler*innen in der Plenumsdiskussion eigenständig die Notwendigkeit von formulierten Vermutungen nannten, um Beobachtungen oder subjektive Wahrnehmungen mit Messdaten überprüfen zu können. Besonders einfach schien es für die Schüler*innen, herauszufinden, dass es in allen Aussagen der Freund*innen um die physikalische Messgröße der Temperatur ging.

3.2 Arbeit mit dem Klimamonitoring

Sowohl aus dem Feedback der Schüler*innen als auch aus der subjektiven Wahrnehmung der Lehrkraft scheint die Arbeit mit dem Klimamonitoring sehr motivierend für die Schüler*innen zu sein. Aufgrund der Distance-Learning-Situation erarbeiteten die meisten Schüler*innen die Antworten in Einzelarbeit. Dabei wurde deutlich, dass sehr leistungsstarke Schüler*innen (im Sinne einer subjektiven Einschätzung der Lehrkraft) besonders datenbasiert argumentierten, während Schüler*innen auf der anderen Seite des Leistungsspektrums mit der Datenanalyse und der Aufgabe an sich offensichtliche Schwierigkeiten aufwiesen (siehe Abbildung 2). So gab es bspw. Schüler*innen, die die Aussage der Freund*innen als Vermutung einfach übertrugen und daher kein Schritt in Richtung einer Formulierung einer gut überprüfbar Vermutung vorgenommen wurde. Dies scheint daher ein kritischer Punkt in der Unterrichtssequenz zu sein und daher sollte dieser Prozess in einer zukünftigen

Präsenzeinheit durch die Lehrkraft besonders im Auge behalten werden, um diese Schwierigkeiten schneller zu identifizieren und adressieren.

Im abschließenden Plenumsgespräch (Sammlung und Besprechung der Ergebnisse der Schüler*innen) wurden sowohl unterschiedliche lernförderliche als auch lernhinderliche Elemente des Klimamonitoring-Tools augenscheinlich. Offensichtlich scheinen die angegebenen Werte (Maximum, Minimum – siehe Abbildung 3) für Schüler*innen irritierend zu sein und konnten teilweise nicht adäquat interpretiert werden, nämlich als Abweichungen zum Bezugszeitraum. Dieser Umstand verdeutlicht außerdem, dass es wichtig ist, die Begriffe „Durchschnitt“ und „Abweichungen“ im Vorfeld zu klären. Trotz allem gelang es den Schüler*innen durch den Vergleich von Maximum und Minimum richtige Schlüsse zu ziehen und mit Hilfe der Klimaperioden zu argumentieren. Dies scheint die intendierten Lernprozesse zu unterstützen. Zusätzlich scheint die Möglichkeit des Umschaltens zwischen Klimaperioden und Absolutwert eine unerwünschte Komplexitätsstufe hinzuzufügen.

Als wichtige Lösungsstrategie erarbeiteten sich die meisten Schüler*innen ihre Aussagen über die farbigen Landkarten (siehe Abbildung 3) und stellten dabei qualitative Vergleiche an. Die aufbereitete farbige Darstellung scheint offensichtlich für eine qualitative Analyse dieser Messdaten auszureichen und intuitiv von den Lernenden erschlossen zu werden.

Die Schüler*innen wurden durch die Transferaufgabe dazu animiert, im persönlichen und familiären Umfeld konkret Erfahrungen von Eltern, Großeltern, etc. einzuholen und mit Hilfe des Klimamonitorings zu überprüfen.

3.3 Konkretes Feedback der Schüler*innen

Bei der Darstellung des Feedbacks wird in diesem Beitrag auf folgende Aspekte besonderer Relevanz für die Umsetzung im Unterricht fokussiert.

Allgemein kann aus dem schriftlichen Feedback der Eindruck der Lehrkraft bestätigt werden, dass das Arbeiten mit realen Daten mittels Klimamonitorings motivierend für Schüler*innen zu sein scheint. Auf die Frage zur eigenen Motivation bzgl. der Arbeit mit dem Klimamonitoring schätzten sich alle Schüler*innen (mit Ausnahme eines*einer Schüler*in) auf einer vierstelligen Skala als „sehr motiviert“ oder „eher motiviert“ ein. Exemplarisch ist dies auch an dieser zusätzlich angeführten Aussage zu sehen: „*Es war eine spannende Idee, weil ich endlich anhand von Fakten überprüfen konnte, wie weit die Klimaänderung tatsächlich vorangeschritten ist.*“

Des Weiteren meldeten manche Schüler*innen zurück, dass die Formulierung der Überprüfung (siehe dazu auch Abbildung 2) eine Herausforderung darstellte. Unterstützt wurden die Schüler*innen dabei deutlich durch das Informationsblatt.

In Bezug auf die benötigte Arbeitszeit für den Arbeitsauftrag mit dem Klimamonitoring gaben die Schüler*innen mehr-

heitlich zwischen 40 - 60 Minuten an; dies zeigt deutlich, dass hier entsprechend Zeit zur Verfügung gestellt werden muss.

4. Fazit und Ausblick

Die Arbeit mit dem Klimamonitoring stellt eine sinnstiftende Möglichkeit dar, dass Schüler*innen ihre Kompetenzen hinsichtlich der Datenanalyse und deren Bewertung weiterentwickeln. Zusätzlich scheint das Klimamonitoring bzgl. der aufbereiteten Darstellung von Daten, trotz kleiner Irritationen, besonders intuitiv für Schüler*innen zu sein. Um dies zukünftig auf die Zielgruppe der Schüler*innen abzustimmen, wird dieses Feedback an die ZAMG vermittelt, damit die Darstellung und Auswahl der Daten entsprechend überarbeitet werden können. Außerdem werden derzeit qualitative Untersuchungen mit einzelnen Schüler*innen beim Arbeiten mit dem Klimamonitoring durchgeführt, um genauere Informationen in Bezug auf förderliche und hinderliche Elemente für das Lernen der Schüler*innen zu identifizieren.

Zuletzt ist herauszustreichen, dass das Klimamonitoring sehr vielfältig und auch mehrmals im Unterricht eingesetzt werden kann. Die vorliegende Einsatzmöglichkeit könnte beispielsweise ein Ausgangspunkt sein, das Klimamonitoring bei der anschließenden Behandlung des Themas *Klima* fortlaufend im Unterricht zu nutzen.

Ingrid Krumphals *Pädagogische Hochschule Steiermark, Graz*
 Maria Teresa Schwarz *Wiedner Gymnasium /*
Sir Karl Popper Schule, Wien
 Rosmarie de Wit *Zentralanstalt für Meteorologie*
und Geodynamik (ZAMG), Wien

Literatur

- [1] Steffens F. Donald Trump versteht den Klimawandel nicht. Frankfurter Allgemeine Zeitung. 31.01.2019. Verfügbar unter: <https://www.faz.net/aktuell/politik/von-trump-zu-biden/kaeltewelle-in-den-usa-donald-trump-versteht-klimawandel-nicht-16017229.html> [09.05.2021]
- [2] Lüdke S. Trump kennt den Unterschied zwischen Wetter und Klima nicht, macht sich lächerlich. DER SPIEGEL. 29.12.2017. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/panorama/donald-trump-kennt-den-unterschied-zwischen-wetter-und-klima-nicht-macht-sich-laecherlich-a-00000000-0003-0001-0000-000001977319> [09.05.2021]
- [3] Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung. Lehrplan Physik. 2000.
- [4] BIFIE. Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. 2011.
- [5] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wetter und Klima. Link: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/wetter-und-klima> [09.05.2021]
- [6] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Klima. Link: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima> [09.05.2021]
- [7] World Meteorological Organization. Climate. Link: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate> [09.05.2021]
- [8] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Die neue Normalität im Klima: Klimanormalperiode 1991–2020. Link: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/die-neue-normalitaet-im-klima-klimanormalperiode-199120132020> [09.05.2021]
- [9] Reuter H, Hantel M, Steinacker, R. Meteorologie. In: Erde und Planeten, 2. Aufl. Raith, W., Bauer, S. J., Bergmann, L., Schaefer, C., Bergmann-Schaefer (Hrsg.). 2001. de Gruyter: Berlin. 131–310.
- [10] Bolte A. Forstökologie – Der große Waldumbau. Spektrum der Wissenschaft. 2020. 9: 18–20.
- [11] Heute. Jetzt ist sogar Frost möglich – und das mitten im Juli. 12.07.2020. Verfügbar unter: <https://www.heute.at/s/wetter-in-oesterreich-jetzt-ist-im-sommer-frost-moeglich-100091490> [09.05.2021]
- [12] Stanzl, E. Ein atlantischer, fast britischer Sommer. Wiener Zeitung. 17.07.2020. Verfügbar unter: <https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/wissen/klima/2068380-Ein-atlantischer-fast-britischer-Sommer.html> [09.05.2021]
- [13] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Sommer 2020: sehr warm und relativ feucht. 2020. Verfügbar unter: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/sommer-2020-sehr-warm-und-relativ-feucht> [09.05.2021]
- [14] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Klimamonitoring. Link: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/> [09.05.2021]
- [15] Der Standard. Was vor 1990 ein Extremsommer gewesen wäre, ist heute ein ganz normaler. 02.07.2020. Verfügbar unter: <https://www.derstandard.at/story/2000118456401/was-vor-1990-ein-extremsommer-gewesen-waere-ist-heute-ein> [09.05.2021]

Nachhaltigkeit berechnen – Die CO₂-Bilanz von PET- und Glasflaschen im einfachen Modell mit Lego®-Steinen ermitteln und vergleichen

Julia J. J. Guggi & Philipp Spitzer

Die Dekade der Bildung für nachhaltige Entwicklung und aktuell auch die Fridays for Future-Demonstrationen haben zu einem Nachdenken über Konsum und Ressourcenverbrauch beigetragen. Vor allem die jüngere Generation mahnt einen nachhaltigeren Lebensstil an (siehe auch das Themenheft 3/2020 von PlusLucis). Dabei sorgt die Debatte in der Gesellschaft bereits für erste Veränderungen: Plastiksackerl gibt es nicht mehr im Supermarkt und für alternative Varianten aus Papier, kompostierbaren Kunststoff oder Baumwolle wird nicht selten eine Gebühr erhoben. Ein vermeintlich einfacher und wirkungsvoller Schritt zur Schonung der Umwelt. Aber ist er auch sinnvoll? Auch im Bereich der Getränke gibt es Bestrebungen zum ressourcenschonenderen Verpacken: In Wien haben sich große Getränkehersteller zusammengetan und in eine Recyclinganlage für Einweg-PET-Flaschen investiert (www.pet2pet.at). Recycling von Einweg-PET-Flaschen ist ein sinnvoller Schritt wie [1] anhand der Betrachtung des Energieverbrauchs zeigen. Die im Artikel getätigten Modellrechnungen sind dabei auch für den Unterricht geeignet. In diesem Beitrag möchten wir ebenfalls das Augenmerk auf den Vergleich von PET- und Glasflaschen lenken und die beiden Verpackungsarten auf ihre Nachhaltigkeit hin untersuchen. Der Fokus liegt auf der Entwicklung eines einfachen Modells, mit dem Schüler*innen die Möglichkeit haben, eigene Abwägungen und Überlegungen anzustellen und mit Hilfe des Modells zu überprüfen. Das Modell wurde so angelegt, dass konkrete Berechnungen möglich sind, aber in der Arbeit mit dem Modell nicht unbedingt notwendig werden. Die Ergebnisse werden anschaulich mit Bausteinen verdeutlicht.

1. Nachhaltigkeit berechnen?

Nachhaltigkeit als Berechnungsstandard gibt es nicht. Bei der Berechnung der Nachhaltigkeit eines Produkts kann der Fokus auf unterschiedliche Aspekte gelegt werden. Die bekanntesten Methoden und Größen sind die Energiebetrachtung, die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks und die CO₂-Bilanz. Bei der Berechnung der CO₂-Bilanz bzw. des Treibhauspotentials (Global Warming Potential, GWP) werden alle Treibhausgasemissionen berücksichtigt und in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Dieser Wert wird oft auch als Klimafußabdruck (Carbon Footprint) bezeichnet. Nicht zu verwechseln ist dieser Wert mit dem ökologischen Fußabdruck, der die benötigte biologisch aktive Fläche angibt, um die Schädigung durch ein Produkt zu kompensieren [2].

Die „Nachhaltigkeit“ muss für jedes Produkt individuell berechnet und anhand mehrerer Methoden verglichen werden. Hierzu werden zunächst alle Schritte im Produktleben identifiziert. Angefangen bei der Gewinnung der Rohstoffe, ihrem Transport, der Herstellung des eigentlichen Produkts und letztendlich Befüllung und Verwendung, sowie Entsorgung nach dem Gebrauch. Das sogenannte Life-Cycle-Assessment (LCA) betrachtet alle Faktoren, die mit dem Produkt in Zusammenhang stehen [3]. Der gesamte Lebenszyklus des Produkts wird erfasst und in einem Flussdiagramm aufgetragen. Im Anschluss werden die einzelnen Punkte bilanziert und interpretiert. Das Verfahren beruht auf mehreren DIN-Normen [4], allerdings handelt sich letztendlich immer um Modelle mit Abschätzungen. Die Analyse des Lebenszyklus ist zudem sehr produkt- und herstellerepezifisch, da die individuellen Transportwege, Herstellungsprozesse und Rohstoffquellen betrachtet werden. Die Berechnung kann somit schnell komplex werden. Für den Chemieunterricht hat [5] dies am Beispiel der Herstellung von entionisiertem Wasser dargestellt.

Für den Vergleich von PET- und Glasflaschen haben wir uns für den Carbon Footprint, also die Berechnung von CO₂-Äquivalenten, entschieden. Hierfür haben wir ein einfaches Modell zugrunde gelegt.

2. Beschreibung des Modells

Die LCA ist für Laien ohne Zugang zu umfassenden Datenbanken und Einblicke in Produktionsprozesse sehr schwierig. Mit unserem Modell möchten wir eine einfache Darstellung des Prozesses ermöglichen und aufwendige Berechnungen beim Umgang mit dem Modell vermeiden. Unser Modell und die zugrundeliegenden Berechnungen basieren im Wesentlichen auf einer Vergleichsstudie zur CO₂-Bilanz von Softdrinks [6] und den Studien zur Berechnungen des LCA der Schweizer Limonadenmarke Rivella® [7,8]. Da vor allem in der Berechnung des LCA von Rivella sehr produktspezifische Annahmen stecken, haben wir diese Modelle teilweise (z. B. beim Transport) verallgemeinert. Unser Modell besteht aus den Einheiten **Rohstoffe**, **Herstellung**, **Befüllung**, **Verpackung** und **Distribution**. Zusätzlich kann auch der Recyclingprozess betrachtet werden. Im Folgenden sollen wichtige Überlegungen zu den einzelnen Einheiten dargestellt werden. Die Daten der unterschiedlichen Flaschengrößen in den Berichten wurden

für unser Modell für jeweils einen Liter Fassungsvermögen berechnet.

Der Abschnitt **Rohstoffe** beinhaltet alle mit der Beschaffung und dem Transport der Rohstoffe in Verbindung stehende Kohlenstoffdioxidäquivalente. Das Modell beinhaltet keine Details zu den einzelnen Rohstoffen. Hier liefert die Untersuchung von [8] detailliertere Angaben. Ebenso wurden die Punkte **Herstellung** und **Befüllung** in unserm Modell nicht weiter spezifiziert. Die unterschiedlichen CO₂-Äquivalente bei dem Aspekt **Verpackung** ergeben sich aus der sogenannten Sekundär- und Tertiärverpackung der Flaschen. Hierzu zählt beispielsweise das Einschweißen in Folie zu Gebinden von sechs PET-Flaschen. Insgesamt verursacht dieser Prozess bei PET-Flaschen eine größere Anzahl an CO₂-Äquivalenten. Die meisten Anpassungen mussten wir im Bereich **Distribution** vornehmen. Hier fanden sich im Bericht zu Rivella® [8] sehr viele produktspezifische Annahmen. Im Vertrieb mussten beispielsweise die Glasflaschen, anders als die Flaschen aus PET, für den weiteren Vertrieb erst zu Brauereien transportiert werden. Dies führt zu längeren Transportwegen der Glasflaschen bei Rivella®. Unser Modell haben wir diesbezüglich vereinfacht und die Annahmen angepasst. Als durchschnittlichen Verbrauch eines LKW haben wir 35 Liter Diesel auf 100 Kilometer angenommen wobei ein Liter Diesel 2,65kg CO₂-Äquivalenten entspricht [9]. Somit kann von 92,75 kg CO₂-Äquivalenten pro 100 Kilometer ausgegangen werden. Das Volumen der Flaschen ist bei der Distribution gleich (jeweils ein Liter), allerdings hat eine Glasflasche in etwa die doppelte Masse. Aus diesem Grund gehen wir von den doppelten CO₂-Äquivalenten bei Glasflaschen aus. Um den Transportweg in unserem Modell variieren zu können, geben wir die Äquivalente hier pro 100km an.

Für die anschauliche Darstellung haben wir Lego®-Steine verschiedener Farben verwendet. Als kleinste Einheit konnten wir somit von 5g (1er-Stein) ausgehen. In der Praxis kann auch überlegt werden, diese kleinste Einheit zu vernachlässigen und

bei 10g zu beginnen. Die Zuordnung der Lego®-Steine zu den CO₂-Äquivalenten kann Abbildung 1 entnommen werden.

3. Verwendung im Unterricht

Unser Modell vereinfacht das Konzept der Lebenszyklusanalyse für den Unterricht. Der Einsatz der Bausteine ermöglicht eine exemplarische Auseinandersetzung mit dem Prozess ohne aufwendige Berechnungen. Trotzdem können durch die Steine konkrete Werte ermittelt werden und so die Nachhaltigkeit beider Produkte verglichen werden. Für eine noch detailliertere Auseinandersetzung kann das Modell anhand der beiden zugrundeliegenden Berichte (beide sind im Internet frei verfügbar) beliebig verfeinert werden. Hierfür eignet sich in einem ersten Schritt besonders der Abschlussbericht von [7]. Für die Diskussion weiterer Produkte im Unterricht sei auch auf das Buch „How bad are bananas?“ verwiesen [2], welches CO₂-Äquivalente vieler Alltagsprodukte angibt.

Durch die einfache Gestaltung unseres Modells haben die Schüler*innen auch Gelegenheit, den Recyclingprozess der beiden Verpackungen zu diskutieren (siehe Abbildung 2). Entsprechende Überlegungen werden mit Hilfe der Arbeitsblätter angeleitet (Link am Ende des Artikels). Vereinfacht wird hier davon ausgegangen, dass bei den PET-Flaschen nur noch ein Viertel der CO₂-Äquivalente der Produktion/Herstellung anfallen [10].

Der Transport zur Recyclinganlage kann analog zur Distribution berechnet werden. Möchte man das Modell hier realistischer gestalten, kann eine Kapazität des LKW von 15.000 1-Liter Glasflaschen angenommen werden [11]. Der Rücktransport der PET-Flaschen kann vernachlässigt werden, ebenso wie das Waschen der Mehrweg-Glas-Flaschen vor dem Wiederbefüllen. Eine Mehrweg-Glasflasche kann bis zu 40-mal neu befüllt werden [12]. Eine weitere Überlegung kann die Verwendung von Mehrweg-PET-Flaschen sein. Auch dies kann anhand des Modells durchgespielt werden. Hier muss beim Recycling

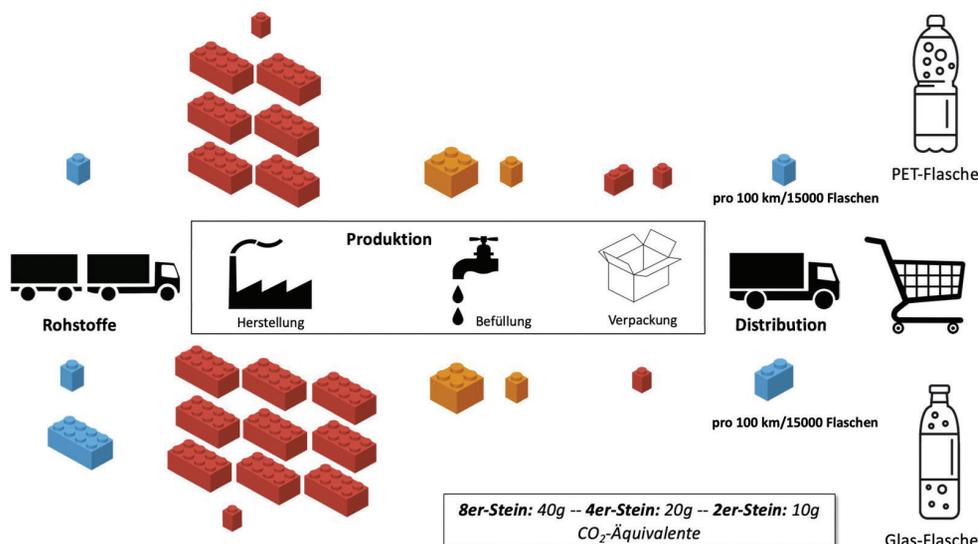


Abbildung 1: Modell zur Berechnung des Carbon Footprints von PET- und Glasflaschen mit Lego®-Steinen

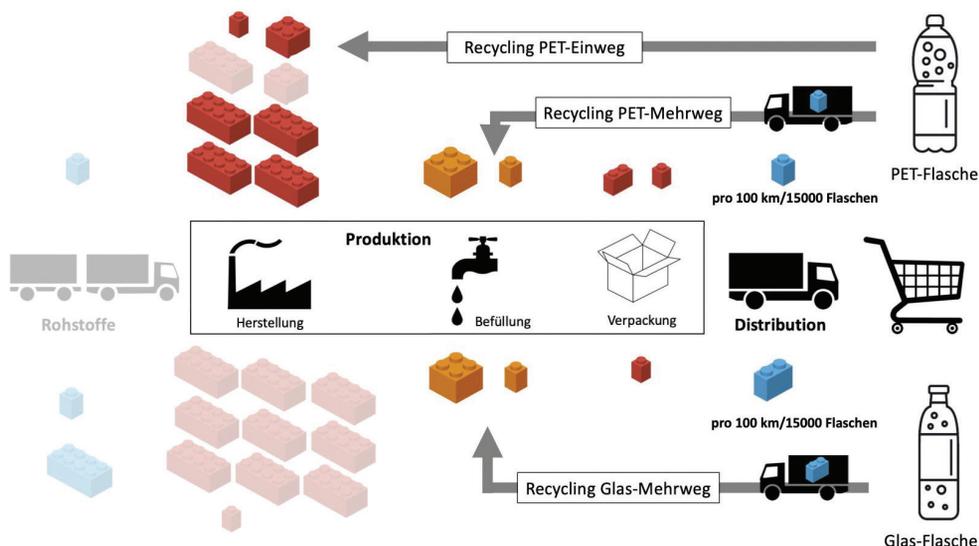


Abbildung 2: Überlegungen zum Recyclingprozess

jedoch der Transport berücksichtigt werden. Eine Mehrweg-PET-Flasche kann 20-mal wiederverwendet werden [12].

4. Fazit: Bewusste Entscheidungen treffen (üben)

Das hier vorstellte anschauliche Modell ermöglicht eine Auseinandersetzung mit dem Prozess des LCA. Es stellt eine fundierte Diskussionsgrundlage für die Abschätzung der Nachhaltigkeit von PET- und Glasflaschen im Unterricht dar.

Die Glasflasche als Einwegprodukt verursacht jedoch deutlich mehr CO₂-Äquivalente als die PET-Einweg-Flasche. Erst bei Betrachtung des Recyclingprozesses und der Nutzung als Mehrwegflasche wird der Vorteil der Mehrweg-Glasflasche sichtbar. In der Arbeit mit dem Modell wird auch der Vorteil der Mehrweg-PET-Flasche deutlich. Das Modell kann unterschiedliche Transportwege und ihren Einfluss auf die Bewertung der Flaschen berücksichtigen. Eine Erweiterung um zusätzliche Produkte (z. B. Getränkedosen) ist ebenso

wie die Verwendung anderer Berechnungsgrößen für die Nachhaltigkeit generell möglich, jedoch mit Recherche- und Berechnungsaufwand verbunden.

Unser Modell eignet sich gut für die exemplarische Auseinandersetzung mit der Ermittlung der Nachhaltigkeit von PET- und Glasflaschen und die Diskussion der verschiedenen Einflussfaktoren. Die Auseinandersetzung ist durch die Verwendung von Lego®-Steinen anschaulich und kann zudem auf verschiedenen Anforderungsniveaus erfolgen.

Materialien für die Umsetzung im Unterricht können auf der Heftseite und unter www.spottingscience.com/material heruntergeladen werden.

Julia J. Guggi studiert Lehramt für Chemie und Englisch auf Master an der Universität Graz

Philipp Spitzer Fachdidaktikzentrum Chemie, Universität Graz

Literatur

Die vollständige Literaturliste finden Sie auf unserer Homepage unter www.pluslucis.org.

Der Klimawandel: verstehen und handeln

Ein BNE-Bildungsprogramm mit Lehrernetzwerk und online-portal

Cecilia Scorza, Harald Lesch & Moritz Strähle

Der Klimawandel ist die größte Herausforderung für die Menschheit im 21. Jahrhundert und ein zentrales Thema der Zukunft heutiger Schüler*innen. Ein Bildungsangebot, das Ursachen und Folgen des Klimawandels, aber auch die Chancen konkret zu handeln, thematisiert, ist essenzieller Bestandteil eines gesellschaftlichen Umdenkens. Unser Bildungsprogramm „Der Klimawandel: verstehen und handeln“ fußt auf diesem Gedanken.

Mit diesem Programm [1,2], dem dazu gehörigen Lehrer*innennetzwerk und Online-Portal (www.klimawandel-schule.de), haben wir uns zum Ziel gesetzt, die Wissenschaft hinter dem Klimawandel für Schüler*innengruppen zu elementarisieren, damit sie begründet und argumentationssicher diskutieren und handeln können. Da Klimaschutz und Energiewende eng zusammenhängen, vermitteln wir eine Idee davon, wie die Energiewende konkret aussehen könnte, und wie wir den Energiebedarf halbieren müssten, damit die Energiewende gelingen kann. Wissen und handeln gehen Hand-in-Hand.

Unser Programm orientiert sich an den pädagogischen Ansätzen der UNESCO zur globalen Bürgerschaftsbildung (Global Citizenship Education (GCED))[3] und Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)[4]. Sowohl GCED als auch BNE regen Schüler*innen dazu an, Wissen, Fähigkeiten, Werte und Einstellungen zu entwickeln, die sie benötigen, um zu einer inklusiveren, gerechteren, friedlicheren und nachhaltigeren Welt beitragen zu können.

Zur Umsetzung von GCED und BNE versucht die UNESCO, drei miteinander verknüpfte Dimensionen des Lernens gleichzeitig zu fördern. Die Kombination bietet eine ganzheitliche Lernerfahrung, die jungen Menschen auf den Weg der Befähigung und Transformation bringt [2]:

Kognitiv: Erwerb von Wissen, Verständnis und kritischem Denken über globale, regionale, nationale und lokale Themen, die Verflechtung und gegenseitige Abhängigkeit verschiedener Länder und Bevölkerungen sowie soziale, wirtschaftliche und ökologische Aspekte der nachhaltigen Entwicklung.

Sozial und emotional: Das Gefühl der Zugehörigkeit zu einer gemeinsamen Menschheit, das Teilen von Werten und Verantwortlichkeiten, Empathie, Solidarität und Respekt vor Unterschieden und Vielfalt, sowie das Gefühl und die Übernahme von Verantwortung für die Zukunft.

Verhaltensbezogen: Effektives und verantwortungsvolles Handeln auf lokaler, nationaler und globaler Ebene für eine friedlichere und nachhaltigere Welt.

Die Gruppenarbeit im Unterricht ist in unserem Bildungsprogramm zentral, denn nur innerhalb einer Gruppe können sich die oben beschriebenen drei Lerndimensionen entfalten und zu einer transformativen und neuen Gruppenidentität führen. Entsprechend dieser drei Lerndimensionen ist auch unser Bildungsprogramm und Online-Portal in drei Bereiche gegliedert: I. Verstehen, II. Zukunftsgestaltung und III. Zusammenhandeln:



Abbildung 1: Drei Lerndimensionen des Bildungsprogramms

I. Verstehen. Freitags fordern viele junge Menschen auf der Straße „Hört auf die Wissenschaft!“. Aber was sagt die Wissenschaft? Und worauf bauen Wissenschaftler*innen ihre Klimamodelle, Analysen und Schlussfolgerungen auf? Um diese Fragen zu beantworten und die MINT-Aspekte des Klimawandels darzustellen, wurde der Klimakoffer entwickelt. Mit relativ einfachen Experimenten und Aktivitäten können Schüler*innengruppen u. a. die Bewohnbarkeit der Erde, die Rolle der Atmosphäre, die Absorption von Wärmestrahlung durch CO₂, den natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt, den Albedo-Effekt, komplexen Rückkopplungsprozesse und vor allem auch die Kippunkte, sowie die regionale wie globale Auswirkungen des Klimawandels aktiv erkunden. Alle wissenschaftliche Hintergründe sind im Lehrer*innenhandbuch „Klimawandel“ ausführlich beschrieben und schulgerecht elementarisiert. Der Klimakoffer selbst umfasst fünf Module mit insgesamt zwölf Experimenten bzw. Aktivitäten. Den verflochtenen MINT-Charakter des Klimawandels sowie die interdisziplinäre Ausrichtung mit klaren Bezügen zu Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und Geographie sind im Handbuch dargestellt und fördern fächerübergreifendes Arbeiten in der Schule. Der Klimakoffer kann erworben oder als Schulprojekt selbstgebaut werden (siehe unten Online-Portal).

Vorschlag für den Unterricht: Schüler*innengruppen werden eingeladen in Lernstationen die Experimenten und Aktivitäten

des Klimakoffers durchzuführen, anschließend sich über die Auswirkungen des Klimawandels in ihren eigenen Wohnregionen zu informieren und sie im Kontext der Wissenschaft zu platzieren. Eine Diskussion in Plenum sollte ein gesamtes Bild für die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels weltweit und regional ergeben.

II Zukunftsgestaltung. Wir sind uns bewusst, dass die unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels beängstigend sein können. Wenn Schüler*innen jedoch den Eindruck gewinnen, dass sie durch ihr Verhalten etwas bewirken können, und damit Selbstwirksamkeit erleben, dann können selbst negative Emotionen durchaus handlungsfördernd sein. Um wichtige transformative Impulse zu wecken, ist eine Zukunftsvision notwendig und die heißt: die Energiewende. Klimaschutz und Energiewende hängen ganz eng zusammen. Klimaschutz bedeutet vor allem so wenig Treibhausgase wie nur möglich in die Atmosphäre zu entlassen. Dazu gehört als wichtigste Maßnahme die Wende von fossilen Ressourcen, wie Kohle, Öl und Gas, hin zu erneuerbaren Energien, wie Wind, Sonne und Biomasse. Es muss gelingen unsere elektrische Versorgung, unsere Mobilität, unsere Industrie und viele andere Lebensbereiche in Zukunft mit erneuerbaren Energie zu versorgen. Dazu gehören aber nicht nur der flächendeckende Ausbau von Photovoltaik, Solarthermie, Windkraftwerken und Biomasse, sondern auch die Speicherung von Energie und der Ausbau des notwendigen Leitungssystems. In diesem Bereich des Programmes entdecken die Schüler*innen anhand von Experimenten und Aktivitäten die Grundlagen der Photovoltaik, Solarthermie, von Windkraftwerken sowie der Nutzung von Biomasse. Alles auf die Frage ausgerichtet: Wie kann die Energiewende in unserem Land Realität werden?

Vorschlag für den Unterricht: Schüler*innengruppen werden motiviert in Lernstationen und anhand der Materialien unseres Portals, sich mit den Grundlagen der Fotovoltaik, Solarthermie, Fotokatalyse, Windkraft und Biomasse vertraut zu machen, sowie mit den Energiekonversionsprozessen und den dabei unausweichlich auftretenden Energieverlusten. Anschließend sollten sie über die optimale Kombination von erneuerbaren Energiequelle in ihren Ländern diskutieren und eine Vision entwerfen.

III Zusammenhandeln. Im ersten Bereich des Projektes haben die Schüler*innen erfahren, dass der anthropogen verursachte Ausstoß von Treibhausgasen für den Klimawandel mit all seinen Folgen verantwortlich ist; im zweiten Bereich, dass die Energiewende in unseren Ländern gelingen kann, aber nur wenn der Ausbau erneuerbarer Energien mit einer Halbierung unseres Energieverbrauchs einhergeht! Doch wie können wir unsere CO₂-Emissionen effektiv und zügig senken? Wo stecken die größten Energie-Einsparpotentiale? Und wie kann sich jede*r, über eine persönliche Verhaltensänderung hinaus, für Klimaschutz engagieren? Gruppenarbeit soll die jungen Menschen dazu ermutigen, transformative Maßnahmen zu ergreifen, um

die Herausforderungen von Nachhaltigkeit anzugehen. Dies erfordert soziales und emotionales Lernen, um Mut, Ausdauer, Widerstandsfähigkeit und Entschlossenheit zu fördern, sowie empathisches Bewusstsein für die Vernetzung der Menschen untereinander. Unsere Materialien weisen Schüler*innen den Weg, wie sie konkret in Gruppen handeln können, durch effektive klimaschützende Verhaltensweisen ihren CO₂-Fußabdruck verkleinern und durch gemeinsames Engagement ihren positiven Handabdruck maximieren.

Vorschlag für den Unterricht: Schülergruppen sollen über ihren Fußabdruck reflektieren und ihn mit den Fußabdruck anderer Ländern vergleichen. Wir leben und konsumieren weit über ein nachhaltiges Maß hinaus und die Energiewende ist nur in Kombination mit einer deutlichen Reduktion unseres Energieverbrauchs realisierbar. Der Analyse und dem Absenken des Kohlenstoffdioxids-Fußabdrucks kommt daher eine große Bedeutung zu. Im Gegensatz zum Fußabdruck, welcher maximal in Europa auf 4t pro Jahr gesenkt werden kann, hat der Handabdruck das Potenzial unendlich zu wachsen, indem andere Menschen auf den Weg mitgenommen und überzeugt werden!

Unser Lehrer*innennetzwerk. Die interdisziplinäre Gruppenarbeit in der Schule ist in allen Bereichen zentral, damit sich die drei wichtigen Lerndimensionen entfalten und zu einem transformativen Prozess von Lebensstilen führen können. Dies erfordert ein Umdenken des Unterrichtes mit Betonung auf die Gruppenarbeit mit eigenen Tempo und Gestaltungsraum. Den MINT-Fächern kommt dabei eine herausragende Bedeutung zu. Ein ansprechender Unterricht in diesem Fächerkanon wird wesentlich mit zur Motivation der Schüler*innen beitragen, sich für technische und MINT-Berufe zu entscheiden. Hierbei gilt es die Bedeutung der Mathematik als wesentliches Instrument der quantitativen Natur- und Technikwissenschaften genauso hervorzuheben, wie erste positive Erfahrungen mit handwerklichen Fähigkeiten zu erlangen. Da digitalisierte Technologien für die Steuerung der dezentralen Energieversorgung, den Betrieb von Leitungssnetzen und Speichermedien unbedingt notwendig sind, gilt es auch dem Informatikunterricht eine deutlich größere Anwendungsperspektive zu verleihen.

Als Teil unseres Programmes bieten wir ein Lehrer*innennetzwerk an, die den Austausch zwischen Lehrer*innen fördert und bewährte Erfahrungen sichtbar machen. Zweimal jährlich bieten wir Fortbildungen an, fördern den Austausch und erhalten direkten Feedback über die Umsetzungsmöglichkeiten.

Unser Online-Portal [5] präsentiert das gesamte Bildungsprogramm mit dem Handbuch „Der Klimawandel: Verstehen und Handeln“ und dem Klimakoffer. Letzteres kann als Schulprojekt selbstgebaut werden oder über unsere Webseite (<https://klimawandel-schule.de/klimakoffer/>) für 280,00 € ohne Wärmebildkamera und für 510 € mit Wärmebildkamera bestellt werden. Das Portal bietet darüber hinaus

Unterrichtsmodulen zu den drei Bereichen I. Verstehen, II. Zukunftsgestaltung und III Zusammenhandeln. Während die Module für den Bereich „I. Verstehen“ nahezu vollständig sind, entwickeln wir gerade Unterrichtsmodule für die Bereiche II Zukunftsvision (erneuerbaren Energie) und III. Zusammenhandeln.

Literatur

- [1] Scorza, C., Lesch, H., Strähle, M. und Sörgel, D., „Die Physik des Klimawandels: verstehen und handeln“, in Physikdidaktik, Methoden und Inhalte. Herausgeber: E. Kircher, R. Girwitz, H. Fischer, Springer Verlag, Spektrum 2020
- [2] Scorza, C., Lesch, H., Strähle, M., „Der Klimawandel: verstehen und handeln“, 2020, PlusLucis, Ausgabe 3/2020, Seite 4.

Cecilia Scorza Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)

Harald Lesch Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)

Moritz Strähle Asam-Gymnasium und
Fakultät für Physik der LMU

- [3] UNESCO Veröffentlichung 2018, „Preparing Teachers for Global Citizenship Education“, Education 2030
- [4] UNESCO Veröffentlichung, 2017, “Education for Sustainable Development Goals“, Education 2030
- [5] www.klimawandel-schule.de

Rezension von „Mats Möwe auf großer Klimamission“

Thomas Plotz

Nicht erst seit der „Fridays for Future“-Bewegung ist das Thema Klimawandel in der Schule angekommen. Für ein jüngeres Publikum gibt es eine relativ große Anzahl an Kinder- und Jugendbücher, die sich mit dem Thema beschäftigen und in den letzten beiden Jahren erschienen sind [1-6]. Eine didaktische Besprechung der zitierten Bücher findet sich bei Nosko und Plank [7].

Im vorliegenden Buch wird die*der Lesende von einer jungen Möwe (Mats) auf eine Reise um die Erde mitgenommen. Ausgangspunkt ist ein Streit unter den Möwen am Nordseestrand um die Existenz des Klimawandels. Mats macht es sich dabei zur Aufgabe drei weitere Möwen vom menschengemachten Klimawandel zu überzeugen und fliegt mit ihnen an Orte, an denen dieser bereits jetzt sichtbar ist.

Die Reise führt zum Nordpol, nach Hawaii und nach Indien. Bei jeder Station wird ein fachliches Konzept (Rückkopplung, Keeling-Kurve, Klimamodellen, usw.) erklärt und illustriert. Zusätzlich zur Geschichte gibt es immer zusätzlich Informationstexte, die etwas mehr in die Tiefe gehen. Am Ende des Buches finden sich noch Tipps und Möglichkeiten,

Literatur

- [1] Dahlmeier, L., Linker, C. & Welter, A. (2019). Die Klima Gang: Laura Dahlmeier & Freunde im Einsatz für die Natur. Köln: J.P. Bachem Editionen.
- [2] Fromental, J.-L. & Jolivet, J. (2018). 365 Pinguine. Aus dem Französischen von Leonie Jakobson. Hamburg: Aladin.
- [3] Horst, M. ter & Panders, W. (2020). Palmen am Nordpol. Alles über den Klimawandel. Aus dem Niederländischen von Rolf Erdorf. Stuttgart: Gabriel Verlag.

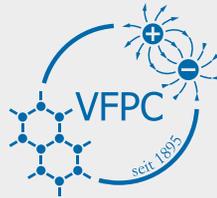
wie die*der Lesende selber etwas beizutragen, um den Klimawandel abzuschwächen.

Bei der Lektüre des Buches fällt sofort die liebevolle Illustration auf. Die fachlichen Aspekte sind durchgehend richtig, was bei Kinderbüchern ja nicht selbstverständlich ist, und die Geschichte ansprechend. Schön wäre es gewesen, vor allem, wenn man daran denkt, dass man die Geschichte vorliest, wenn die Geschichte in einzelne Episoden oder Kapitel unterteilt worden wäre. Der Bildungsauftrag zieht sich sehr klar durch das Buch und so werden auch die skeptischen Möwen am Ende überzeugt. Insgesamt spürt man beim Lesen jedoch den leicht erhobenen Zeigefinger.

Wenn man überlegt, für die eigenen Kinder oder für Kinder im Verwandten- und Freundeskreis ein Buch zum Klimawandel zu kaufen, so ist Mats Möwe sicher eine gute Möglichkeit für die Altersgruppe der Primarstufe.

Thomas Plotz KPH Wien/Krems

- [4] Neuhaus, J. & Penzek, T. (2020). Die Klimaschweine. Mannheim: kunstanstifter.
- [5] Schott, H. (2019). Klimahelden: Von Goldsammlerinnen und Meeresputzern. Cuxhaven: Neufeld Verlag.
- [6] Weber, S. & Göhlich, S. (2020). Land Unter ... bei Samuel. Hamburg: Verlag Hummelburg.
- [7] Nosko, C., & Plank, I. (2020). Klimawandel und Klimaschutz als Themen in der Kinderliteratur. Didacticum, 2(1), 93-111.



Neues aus dem Verein

Ein Großer geht in den Ruhestand

Diese Ausgabe markiert einen Schlusspunkt in der langen Tätigkeitsperiode von Gerhard Rath. Der Steirer war seit fast 40 Jahren in Graz an der Universität als Vortragender und Mitarbeiter tätig und prägte so mehr als eine Generation von Physiklehrkräften. Mit dem vorliegenden Heft verabschiedet er sich in den Ruhestand und führt in kollegialer Art Thomas Schubatzky in die Herausgebertätigkeit ein.

Gerhard Rath trat in verschiedensten Funktionen und Positionen in der österreichischen, physikdidaktischen Landschaft, vom Mitbegründer des ersten regionalen Fachdidaktikzentrums Österreichs bis zum Mitgestalter der PädagogInnenbildungNEU, auf und war auch im Verein als Herausgeber tätig. In dieser Funktion durfte auch ich als Redaktionsverantwortlicher eng mit ihm zusammenarbeiten. Seine ruhige, verbindliche Art machte die Arbeit an diesen Heften immer leicht und so darf ich mich bei ihm für den Einsatz bedanken.

Die gesamte Redaktion und auch der Vorstand des Vereins wünschen dir alles Gute in der Pension. Wir hoffen aber auch, dass du weiterhin bei der Fortbildungswoche anzutreffen bist und vielleicht packt dich ja auch die Lust, wie Leopold Mathelitsch, künftig dein Wissen in Buchform weiterzugeben.

Erratum

In der letzten Ausgabe ist uns in der redaktionellen Bearbeitung der Beiträge ein Fehler passiert, für den wir uns entschuldigen möchten. Auf Seite 35 wurde das Originalzitat falsch verändert. Nachfolgend das richtige Zitat:

„... Da wir spätestens seit Karl Raimund Popper wissen, dass jede Erkenntnis der empirischen Wissenschaften eine grundsätzlich nur vorläufige Erkenntnis ist, wähnt wohl kein ernstzunehmender Naturwissenschaftler, sich im Besitz der unumstößlichen Wahrheit zu befinden ...“

Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S

Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien

DVR 0558567
VRN 668472729

Impressum: Medieninhaber (Verleger) und Hrsg.: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts. Druck: Fa. Wograndl GmbH, Mattersburg

Retouren an: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien.