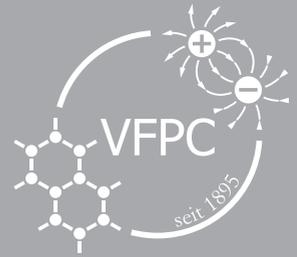


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

FRIDAYS
FOR
FUTURE

Umweltbildung
für nachhaltige
Entwicklung

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 Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Dr. Ilse Bartosch
 Fakultät für Physik, Universität Wien
 Email: ilse.bartosch@univie.ac.at
 Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
 Universität Wien, Chemiedidaktik
 E-Mail: anja.lembens@univie.ac.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
 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):

Foto von pixabay (Gerd Altmann)

Inhalt

Der Klimawandel: Verstehen und Handeln.....	4
<i>Cecilia Scorza, Harald Lesch und Moritz Strähle</i>	
Kritisches Denken im Kontext des Klimawandels.....	9
<i>Susanne Rafolt und Suzanne Kapelari</i>	
Da irrt so manches Physikbuch (Teil 3).....	15
<i>Rainer Pippig</i>	
Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht.....	16
<i>Johanna Ratzek und Dietmar Höttecke</i>	
Klimawandel im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I.....	21
<i>Gerold Stein</i>	
Biokunststoffe = umweltfreundlich?.....	26
<i>Simone Abels, Luca Girod, Ronja Hallerbach, Daniel Pleissner, Antje Reichelt und Catharina Struck</i>	
Mit dem Smartphone chemische Phänomene in der Natur entdecken und verstehenlernen.....	31
<i>Philipp Spitzer und Anja Lembens</i>	
Den Spirit von Fridays For Future in den Klassenraum bringen?.....	35
<i>Roswitha Avalos Ortiz</i>	
Photovoltaik in der Schule unterrichten.....	43
<i>Viktor Schlosser und Ilse Bartosch</i>	
Kinder- und Jugendsachbücher zum Thema „Klimawandel“.....	49
<i>Christian Nosko</i>	
Bild der Wissenschaft.....	51
<i>Karin Hain</i>	

Editorial

Liebe Leser*innen,

„Fridays for Future“ war Thema Nummer eins an unseren Schulen bevor Corona eine tägliche Herausforderung für die Unterrichtsarbeit wurde. Die Klimaerhitzung hat allerdings nichts an Aktualität eingebüßt und bietet eine Fülle an Anknüpfungspunkten für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Der etwas sperrige Untertitel „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ verweist auf das gleichnamige Unterrichtsprinzip, das Umweltbildung als integralen Bestandteil der Unterrichts- und Schulentwicklung verankert. Sie soll junge Menschen mit Wissen und Fähigkeiten ausstatten, die es Ihnen ermöglichen, aktiv an gesellschaftlichen Veränderungen im Sinne einer lebenswerten Zukunft für alle Menschen mitzuwirken. Unterricht im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung geht über den Aufbau entsprechenden Wissens hinaus und bezieht eine Werteerziehung und damit die Anbahnung einer empathischen Haltung gegenüber allen Lebewesen systematisch in die naturwissenschaftliche Bildung ein. Diese beiden Bezugspunkte haben die Herausgeberinnen bei der Auswahl der Beiträge dieser Ausgabe von Plus Lucis geleitet. Wichtig war uns darüber hinaus, dass wir Ihnen Unterrichtsmaterialien an die Hand geben, die Sie bei der Umsetzung des Themas im Unterricht unterstützen. Sie finden die Materialien zu den einzelnen Beiträgen auf der Website von Plus Lucis.

Die ersten Beiträge beleuchten die unterschiedlichen Aspekte von Unterricht im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung: Cecilia Scorza, Harald Lesch und Moritz Strähle fokussieren auf die fachlichen Grundlagen des Klimawandels. Die ergänzenden Arbeitsunterlagen unterstützen die Wissensentwicklung zum Strahlungshaushalt der Erde und zum Treibhauseffekt. Susanne Rafolt und Suzanne Kapelari setzen sich damit auseinander, was kritisches Denken im Kontext des Klimawandels bedeutet. Sie verweisen darauf, dass nicht nur Fakten ein wesentliches Element solcher gesellschaftlichen Fragestellungen bilden, sondern auch Emotionen, Werte und Normen sowie Interessen eine wesentliche Rolle in kontroversiellen Diskussionen spielen. Johanna Ratzeck und Dietmar Höttecke konkretisieren, welche Aspekte es im naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern gilt, um Schüler*innen zu ethischem Bewerten und Urteilen zu befähigen. Sie machen deutlich, dass Fachwissen allein nicht ausreicht, um Bewertungen vorzunehmen, da Überzeugungen, Erfahrungen und die Lebenswelt der Lernenden einen großen, aber unbewussten Einfluss auf das Bewerten haben. Die online bereitgestellten Aufgaben fokussieren auf eine kritische Reflexion eigener und fremder Bewertungsstrategien.



Ilse Bartosch



Anja Lembens

Der zweite Teil der Beiträge fokussiert darauf, wie einschlägige naturwissenschaftliche Inhalte in unterschiedlichen Klassenstufen und unterschiedlichen Schultypen im Kontext von Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung umgesetzt werden können. Gerold Stein beschreibt, wie eine systemische Betrachtung des Kohlenstoffkreislaufs auf elementare Weise den Schüler*innen der Sekundarstufe I nahegebracht werden kann. Simone Abels, Luca Girod, Ronja Hallerbach, Daniel Pleissner, Antje Reichelt und Catharina Struck gehen in einem Kooperationsprojekt zwischen Schule und Universität der Frage nach, inwiefern Biokunststoffe umweltfreundlich sind. Sie stellen folgende Frage ins Zentrum eines forschenden Lernprozesses: Wie können Biokunststoffe chemisch modifiziert werden, um das stoffliche Recycling und die Bioabbaubarkeit zu verbessern? Die entsprechenden Arbeitsblätter für Lernenden sind online verfügbar. Philip Spitzer und Anja Lembens zeigen auf, wie das Smartphone dazu verwendet werden kann, um chemische Phänomene in der Natur zu entdecken und zu verstehen. Roswitha Avalos Ortiz stellt dar, wie nachhaltiger Umgang mit Energie mit Hilfe eines Blended Learning Planspielszenarios entwickelt werden kann. Die Unterrichtsmaterialien sind online abrufbar und richten sich insbesondere an Schüler*innen der HTL, können aber auch in reduzierter Form in der AHS eingesetzt werden. Roman Schlosser und Ilse Bartosch zeigen eine Möglichkeit auf, wie Schüler*innen der Sekundarstufe der Weg zum Verstehen von Solarzellen geebnet werden kann. Die online bereitgestellten Materialien für den Unterricht sind eingebettet in eine umfassende digitale Lernumgebung, die das Thema Photovoltaik in den Kontext von Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung stellen. Zum Abschluss stellt Christian Nosko Kinder- und Jugendsachbücher vor, die sich (auch) im Unterricht einsetzen lassen, um für das Thema Klimawandel zu sensibilisieren und Hintergrundwissen aufzubauen, aber auch Mut machen, Dinge zu verändern.

Wir wünschen Ihnen eine interessante und abwechslungsreiche Lektüre und hoffen, dass Sie einige Anregungen in Ihren Unterricht integrieren können.

Ilse Bartosch
Anja Lembens

Der Klimawandel: Verstehen und Handeln.

Cecilia Scorza, Harald Lesch und Moritz Strähle

Der Klimawandel ist die größte globale Herausforderung der Menschheit im 21. Jahrhundert. Obwohl es in der Geschichte unseres 4,5 Milliarden Jahre alten Planeten immer zu Klimaschwankungen kam, steht ohne Zweifel fest, dass die Menschheit an der aktuellen Erderwärmung den größten Anteil hat. Vor allem die hohe Geschwindigkeit, mit der der Klimawandel voranschreitet, stellt ein enormes Problem dar. Weder Flora und Fauna, noch die Menschen werden sich so schnell an die veränderten Umweltbedingungen anpassen können. Der Klimawandel ist das Thema dieses Jahrhunderts und damit auch wichtiger Bestandteil und Gegenstand der Zukunft unserer Schüler*innen von heute.

Der Klimawandel findet bereits vor unserer Haustür statt, und nicht nur in Australien, der Arktis oder Grönland. Tage mit extremer Hitze sind in Mitteleuropa viel häufiger geworden. Entsprechend der Vorhersage von Klimamodellen haben Extremwetterereignisse zugenommen: Unüblich hohe Temperaturen führen zu Dürren, die die Landwirtschaft massiv beeinträchtigen und Waldbrände häufen sich. Fische ersticken in zu warmen Flüssen und es gibt immer häufiger heftige Regenfälle, die auf die verstärkte Verdunstung von Wasser im Mittelmeer zurückzuführen sind, das durch Luftströmungen nach Europa gelangt.

Das globale Klimasystem und damit auch der Klimawandel sind ein Zusammenspiel verschiedener physikalischer Prozesse. Diese, und auch die daraus resultierenden Folgen, werden in diesem Artikel für Lehrkräfte präsentiert. Die wichtigsten Stichwörter sind hier: Energie, Energiequelle, Energiebilanz, Wärmetransport, thermisches Gleichgewicht, Infrarotstrahlung, Absorptionsverhalten atmosphärischer Gase, Treibhauseffekt, Wetter und Klima, Temperaturgradient und Wärmekapazität. Querbezüge zwischen diesen Themen unterstützen die Vorstellung des komplexen und verflochtenen Charakters des Klimawandels. Aufgrund der vielen Anknüpfungspunkte mit der Chemie, Biologie und Erdkunde ist dieses Thema ideal um fächerübergreifend in der Schule zu arbeiten.

Mindestens so wichtig wie das grundlegende Verständnis des Klimawandelphänomens, ist die Notwendigkeit zu handeln. Doch nur wer die wissenschaftlichen Hintergründe kennt, kann dies auch begründet und verantwortlich tun. Es gilt hier vor allem zu verstehen, dass wir völlig anders mit unserer Umwelt und deren Rohstoffen und Ressourcen umgehen müssen. Denn innerhalb von nur 200 Jahren haben wir ein natürliches Gleichgewicht, das eine lebendige Vielfalt auf unserem Heimatplaneten ermöglicht hat, empfindlich gestört. Aufgabe des Unterrichts ist es daher nicht nur, ein Verstehen der physikalischen Prozesse hinter dem Klimawandel

zu ermöglichen, sondern auch, den Schüler*innen Handlungsmöglichkeiten für den Klimaschutz anzubieten. Als ersten Schritt möchten wir erläutern, warum die Erde ein bewohnbarer Planet ist.

1. Was unseren Planeten so besonders macht

Die Erde ist derzeit der einzige Planet im Sonnensystem von dem wir wissen, dass sich komplexes Leben über Milliarden Jahre hinweg entwickelt und erhalten hat. Seit der ersten Entdeckung von Planeten außerhalb des Sonnensystems im Jahr 1995, wurden über 4000 Exoplaneten entdeckt [1]. Jedoch nur etwa ein Dutzend gelten als potentiell lebensfreundlich. Daraus folgt, dass Planeten, auf denen Leben möglich erscheint, selten sind und ganz besondere Eigenschaften besitzen müssen. Die Erkenntnis, wie viele scheinbar zufällige Ereignisse zusammenkommen müssen, damit ein Planet wie die Erde entsteht, zeigt, wie besonders unser Heimatplanet wirklich ist: (1) Unser Sonnensystem befindet sich in einer ziemlich leeren Region der Heimatgalaxie, weit entfernt von Sternen, die als Supernova explodieren und mit ihrer Gammastrahlung das Leben auf der Erde hätten vernichten können. (2) Im unserem Sonnensystem, befindet sich die Erde in mitten der Lebenszone, dort wo Wasser flüssig existieren kann. Sie entstand trocken und erhielt ihr Wasser von Asteroiden, die auf ihre Oberfläche in einer Frühphase einschlugen. (3) Des Weiteren spielt unser Mond eine Schlüsselrolle für die Bewohnbarkeit der Erde. Er entstand vor 4,5 Milliarden Jahren aus der Kollision der Erde mit einem Protoplaneten. Aus dem Zusammenprall sammelte sich Material um die Erde und ballte sich binnen kurzer Zeit zum Mond zusammen. Durch die Gezeitenkraft, verlangsamte sich die Rotation der Erde, und ihre geneigte Drehachse, stabilisierte sich durch den neuen Trabanten. Diese Neigung verursacht die Jahreszeiten und sorgt für ein stabiles Klima. (4) Nach dem Zusammenprall mit dem Protoplaneten, versank dessen Eisenkern praktisch komplett in der Erde, was seitdem als Wärmequelle die Konvektion im Erdinneren aufrechterhält und den Aufbau eines magnetischen Feldes erlaubt. Ohne diesen Schutzschild wäre die Erdoberfläche dem Sonnenwind, der kosmischen Strahlung und deren hochenergetischen zerstörerischen Teilchen schutzlos ausgeliefert. All diese Prozesse und Umstände machten aus einer trockenen, schnell rotierenden und schutzlosen Ur-Erde einen bewohnbaren Planeten!

2. Wie unser Planet durch den natürlichen Treibhauseffekt bewohnbar wurde

Alle Planeten werden von der Sonne bestrahlt. Aufgrund ihrer Oberflächentemperatur von etwa 5.700°C strahlt die Sonne überwiegend im kurzwelligen, sichtbaren Wellenlängenbereich, und zwar mit einem Maximum im gelb-grünen Bereich. Die Energie der Sonne wird in alle Richtungen gleichmäßig abgestrahlt; der thermische Energietransport von der Sonne zu den Planeten findet über Wärmestrahlung, d. h. über elektromagnetische Wellen statt. Wie viel davon bei einem bestimmten Planeten ankommt, hängt von dessen Entfernung zur Sonne ab. Als Solarkonstante S_0 bezeichnet man die langjährig gemittelte Strahlungsintensität (Leistung/Fläche), die von der Sonne bei mittlerem Abstand Erde–Sonne ohne den Einfluss der Atmosphäre senkrecht zur Strahlrichtung auf der Erde ankommt. Messungen ergeben, dass in einer Fläche von 1 m^2 oberhalb der Erdatmosphäre eine Strahlungsleistung von $1,36\text{ kW}$ auftrifft. Somit beträgt die Solarkonstante der Erde $S_0 = 1,36\text{ kW/m}^2$. Allerdings wird ja nicht die komplette Erdkugel senkrecht, sondern zu den Polen hin zunehmend flacher bestrahlt. Außerdem wird ja immer nur eine Halbkugel der Erde bestrahlt, die andere Halbkugel liegt derweil im Dunkeln. Im Mittel verteilt sich die Intensität der Sonnenstrahlung auf die gesamte Erdoberfläche $O = 4\pi \cdot r_{\text{Erde}}^2$. Die Sonnenstrahlung wirkt deshalb nur effektiv auf die Querschnittsfläche der Erde $Q = \pi \cdot r_{\text{Erde}}^2$. Dies ist offensichtlich genau $1/4$. Somit ergibt sich für die mittlere Intensität der Sonnenstrahlung auf die Erde $I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdoberf.}} = \frac{1368}{4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 342 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Jedoch, von den auf die Erde eingestrahnten 342 W/m^2 werden ca. 30 % direkt ins All reflektiert. Dieses Rückstrahlvermögen von Oberflächen nennt man Albedo α und ist z. B. bei Eis besonders hoch (siehe Aktivität 1, Teil 2). Die Erdoberfläche absorbiert also die geringere Intensität

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdoberf.}} = (1 - \alpha) \cdot I_{\text{Sonne}} = 0,7 \cdot 342 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 239 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

2.1 Welche Temperatur hat die Erde?

Wie alle Planeten, befindet sich die Erde im so genannten Strahlungsgleichgewicht, d. h. die aufgenommene Sonnenenergie entspricht die Wärmestrahlung, die Erde ins All abstrahlt (siehe Aktivität 1, Teil 1). Die mittlere Temperatur der Erde in diesem Zustand von Strahlungsgleichgewicht lässt sich mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz abschätzen:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Dieses Gesetz beschreibt, welche Strahlungsintensität I (in Watt pro m^2) ein Körper bei einer bestimmten Temperatur T abstrahlt. In Abb. 1 wird diese Abhängigkeit dargestellt. Je heißer ein Körper ist, desto mehr thermische Strahlung gibt er ab und zwar proportional zur vierten Potenz seiner Temperatur. Bei doppelter Temperatur (in Kelvin gemessen) strahlt ein Körper also z. B. pro Sekunde 16-mal mehr Energie ab. Mit der Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$ kann man bei bekannter Temperatur die Strahlungsintensität berechnen oder umgekehrt von einer bekannten Strahlungsintensität auf die

Temperatur eines Körpers schließen. Das möchten wir ausnutzen, um die Temperatur der Erdoberfläche abzuschätzen. Unsere Körpertemperatur beträgt 37°C , was eine Intensitätsstrahlung von 510 W/m^2 entspricht. Wie oben bestimmt, beträgt die mittlere Intensität der Sonnenstrahlung auf die Erde 239 W/m^2 . Dies entspricht auf dem Diagramm -18°C ! Jedoch die gemessene Mittlere Temperatur der Erde beträgt 15°C ! Hätte die Erde keine Atmosphäre, wäre sie ein Schneeball. Die Differenz von 33°C verdanken wir den Treibhauseffekt der Erdatmosphäre!

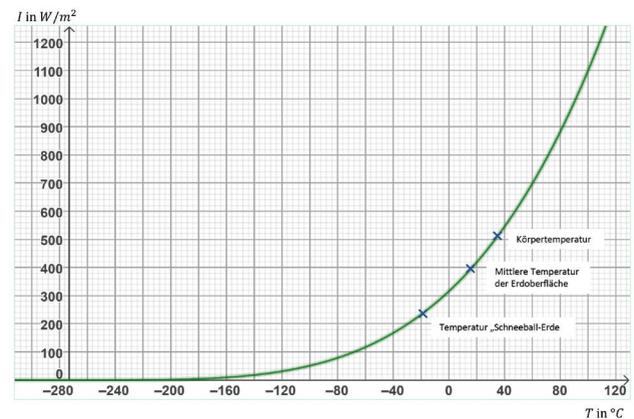


Abbildung 1: Graphische Darstellung des Stefan-Boltzmann Gesetzes (Credits: Strähle, erstellt mit Geogebra)

2.2 Wie funktioniert der Treibhauseffekt?

Die kurzwellige, sichtbare Sonnenstrahlung erreicht fast ungehindert den Erdboden, wird dort zum Teil absorbiert und trägt so zur Erwärmung der Erdoberfläche bei. Die warme Erde strahlt diese aufgenommene Energie als unsichtbare Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) in Richtung Weltall zurück. Letztere wird zum Teil von den Treibhausgasen der Atmosphäre absorbiert (siehe Aktivität 2). Im Fall der Erde sind die Hauptbestandteile der Atmosphäre Stickstoff (78,1%), Sauerstoff (20,9%) und Argon (0,93%) dafür nicht relevant, da sie die Wärmestrahlung des Erdbodens nicht absorbieren. Die in geringen Mengen vorkommenden Spurengase Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid haben hingegen die Fähigkeit, und können Energie aus Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) aufnehmen und in Schwingungsenergie umzuwandeln. Diese Energie kann wiederum auf andere Gasteilchen in Form von Bewegungsenergie übertragen werden – das Gas erwärmt sich. Dies funktioniert allerdings nur, wenn die elektrische Ladung über das Molekül hinweg ungleich verteilt ist, d. h. wenn es wie ein ständiger oder vorübergehender elektrischer Dipol wirkt. Nur dann kann die eintreffende elektromagnetische Welle (die ein sich sehr schnell änderndes elektrisches Feld erzeugt) mittels der Coulombkraft den Dipol zum Schwingen anregen. Wasser ist ein ständiger Dipol und Wasserdampf ist das wirksamste Gas zur Absorption von Wärmestrahlung. Kohlenstoffdioxid entwickelt ein nicht-ständiges Dipolmoment durch Biegeschwingungen. Ähnliches gilt für Methan, Stickoxide, und Fluorkohlenwasserstoffe.

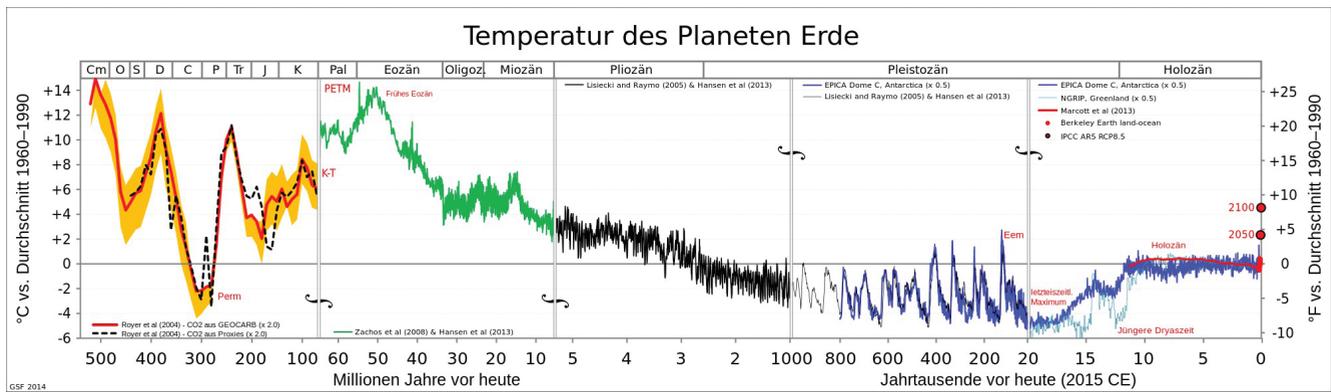


Abbildung 2: Die globalen Oberflächentemperaturen der letzten 540 Mio. Jahre, ermittelt durch zugrundeliegende Messungen und errechnete Temperaturen für 2050 und 2100 aus dem 5. Sachstandsbericht des IPCC [2].

3. Der Klimawandel und der anthropogene Treibhauseffekt

Die Erde ist vor rund 4,5 Milliarden Jahren entstanden. In dieser langen Zeit gab es immer wieder Klimaschwankungen und große Veränderungen auf dem Planeten. Seit dem Beginn des Holozäns vor rund 12.000 Jahren und damit seit der letzten Eiszeit, ist unser Klima, verglichen mit früheren Zeitabschnitten, relativ stabil (siehe Abb. 2). Seit 1980 aber ist ein signifikanter Anstieg der mittleren Atmosphärentemperatur zu beobachten. Heute herrscht in der Klimaforschung der Konsens (zusammengefasste Indizien aus über 34.000 wissenschaftlichen Publikationen), dass der aktuelle Klimawandel zum überwiegenden Teil durch die Aktivitäten des Menschen zustande kommt.

Dabei spielt insbesondere Kohlenstoffdioxid eine ausschlaggebende Rolle für den anthropogenen Anteil am Treibhauseffekt. Global betrachtet ist dieses Treibhausgas die Ursache für mehr als 60% des durch menschlichen Handeln verstärkten Treibhauseffekts. Dies lässt sich folgendermaßen erkennen: In den 10.000 Jahren vor der industriellen Revolution war der Kohlenstoffdioxidgehalt in der Erdatmosphäre relativ konstant (mit Schwankungen um weniger als 10%). Seit 1800 jedoch nahm die Konzentration von etwa 280 ppm (ppm steht für parts per million, also die Anzahl an Kohlenstoffdioxidmolekülen (CO₂) pro eine Million Moleküle trockener Luft.) um mehr als 40%, auf heute über 400 ppm zu und liegt damit höher als zu irgendeinem in den letzten 650.000 Jahren.

Der Hauptgrund hierfür ist, dass der Mensch, zur Freisetzung nutzbarer Energie, kohlenstoffhaltige fossile Brennstoffe verbrennt und dabei unter Sauerstoffzufuhr u. a. Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird. Zunächst geschah dies hauptsächlich in Europa und Nordamerika, später auch in Russland, China, Indien und Brasilien. Im Jahr 2017 wurde die größte jemals gemessene Menge an Kohlenstoffdioxid innerhalb eines Jahres durch den Menschen freigesetzt: 32,5 Gigatonnen. Im Vergleich zum Jahr 1990 (was das Referenzjahr aus dem Kyoto-Protokoll darstellt) stellt das eine Erhöhung der Emissionen um 65% dar.

Abb. 3 zeigt den globalen Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration in den letzten rund 150 Jahren. Der von Skeptikern des anthropogenen Klimawandels oft vorgebrachte Einwand, die Schwankungen der Sonnenflecken, mit ihren erhöhten Strahlungswerten, wären für den messbaren Temperaturanstieg der letzten vier Jahrzehnte verantwortlich, kann eindeutig widerlegt werden. Die Sonnenaktivität sinkt, während die Temperatur und der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre steigen. Sonnenaktivität und globale Erwärmung sind entkoppelt, sie entwickeln sich gegenteilig.

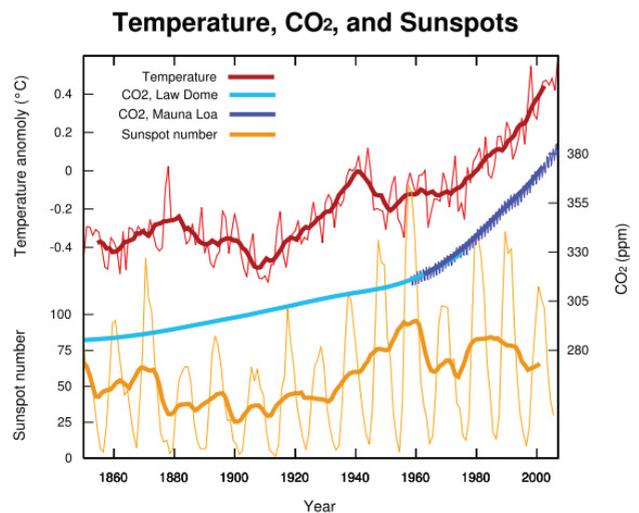


Abbildung 3: Temperatur und Kohlenstoffdioxid (CO₂) Anstieg seit 1850 [3].

3.1 Auswirkungen des Klimawandels

Die Komponenten des Klimasystems der Erde, zu der die Atmosphäre (Luft), Hydrosphäre (Ozean, Seen, Flüsse), Kryosphäre (Eis und Schnee), Biosphäre (Lebewesen auf dem Land und im Ozean), Pedosphäre (Böden und festes Gestein) gehören, werden durch die Verstärkung des Treibhauseffekts massiv verändert. Einige Auswirkungen des Klimawandels beruhen auf einfachen physikalischen Zusammenhängen, etwa der Anstieg des Meeresspiegels, die Versauerung der Ozeane, die Verringerung der Albedo. Die Erwärmung von Eis auf dem Festland (Grönland, Antarktis,

Himalaya) führen zu Schmelzwasser, das in die Ozeane fließt und dort den Meeresspiegel erhöht. Letzteres ist eines der drohenden Risiken für die Menschheit. Im Jahr 2300 könnte er drei Meter betragen. Niedrig liegende Küstengebiete und -städte würden überflutet werden, darunter die am dichtesten bewohnten Regionen der Erde. 22 der 50 größten Städte der Welt sind Küstenstädte, darunter Mumbai, Tokio, Shanghai, Hongkong und New York. Bei einer Erwärmung von 2 Grad wird der Meeresspiegelanstieg rund 10 Millionen Menschen in den Küstengebieten betreffen, bei 3 Grad werden es rund 200 Millionen sein und bei 4 Grad rund 300 Millionen. Und bei einer Erwärmung von 4 Grad werden die großen Gletscher im Himalaya verschwinden womit ein Viertel der chinesischen Bevölkerung und rund 300 Millionen in der südlichen Afrika wird die Wasserversorgung um die Hälfte reduziert sein.

3.2 Rückkopplungs- und Verstärkungseffekte des Klimawandels

Rückkopplungsprozesse stellen den eigentlichen „Knackpunkt“ des Klimawandels dar. Die natürlichen Vorgänge im Wechselspiel der Atmosphäre, der Meere und Ozeane, der Eismassen und der Biosphäre vollzogen sich schon immer, auch in Zeiten als es noch keine Menschen gab. Mitten hinein in ein vernetztes und komplexes natürliches Geschehen, verändert der Mensch die Rand- und Anfangsbedingungen der Atmosphäre durch den Abbau und Verbrennung fossiler Ressourcen. Auf diese allmähliche Veränderung reagieren alle natürlichen Systeme durch Rückkopplungen, und zwar ganz natürlich. Zum Beispiel: Wasserdampf ist das stärkste natürliche Treibhausgas. Er hat jedoch nur eine sehr kurze Verweildauer in der Erdatmosphäre, hält sich dort meist nur für einige Tage und kehrt dann als Regen zurück auf die Erde. Insgesamt ist sein Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt ca. zwei- bis dreimal so hoch wie der von Kohlenstoffdioxid. Durch die Erwärmung der Erdatmosphäre verdunstet durch andere Treibhausgase vermehrt Wasser und je heißer es daher wird, desto höher ist die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre. Dies verstärkt den Treibhauseffekt, was wiederum zu höherer Erderwärmung führt. Und bei erhöhter Luftfeuchtigkeit steigt zudem die Wahrscheinlichkeit für Extremwetterereignisse (Gewitter, Hagel, Sturm und Hurrikan). Zugleich verschwinden helle Fläche und dadurch wichtige Reflektoren an der Oberfläche (Albedo), was zu einer weiteren Aufheizung der festen Oberfläche und zur Verdunstung von mehr Wasser führt.

4. Klimawandel im Unterricht: Verstehen und Handeln

Auf der vorletzten Weltklimakonferenz in Paris (COP21) wurde ein Klimaschutzabkommen mit dem verbindlichen Ziel vereinbart, die Erderwärmung auf 2°C zu begrenzen. Um diese Obergrenze einzuhalten, muss die Emission der Treibhausgase möglichst ab sofort reduziert werden. Würde dieser Umschwung

erst im Jahr 2025 beginnen, blieben keine zehn Jahre, um die Emissionen komplett auf null herunterzufahren (siehe Abb. 4). Fest steht, dass die Weltgemeinschaft in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts treibhausgasneutral werden muss, wenn dieses Ziel erreicht werden soll. Wenn wir diese Beschlüsse ernst nehmen, bleibt uns sehr wenig Zeit, um das Klima der Erde zu stabilisieren und die Aktivierung von Kippunkten zu verhindern, ab denen die klimatischen Verhältnisse auf der Erde durch Rückkopplungseffekte ins Unkontrollierbare abdriften könnten.

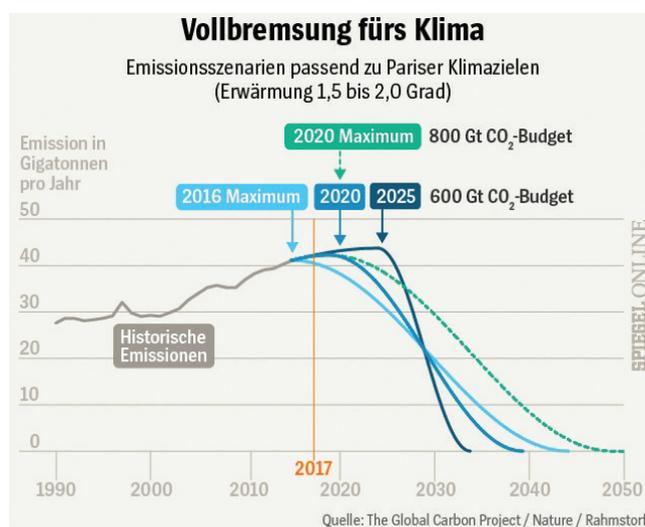


Abbildung 4: Emissionsszenarien zur Erreichung der Pariser Klimaziele. Die Abbildung hat als Voraussetzung, dass die Gesamtmenge des noch zu emittierenden Kohlenstoffdioxids (CO₂) durch Nutzung fossiler Brennstoffe auf eine festgelegte Menge begrenzt wird. Deshalb läuft man in die 'Integralfalle', wenn man nicht rechtzeitig anfängt. Da man vom zur Verfügung stehenden Kohlenstoffdioxid-Kontingent leichtfertig schon viel verbraucht hat, muss man sich in der Zukunft umso mehr anstrengen, um nicht auf den Pfad 'hothouse earth' zu gelangen [4].

Was können Lehrkräfte tun, um Schüler*innen zu motivieren, sich aktiv an der Bekämpfung des Klimawandels zu beteiligen? Zuerst soll verstanden werden, warum das Wissen um den Klimawandel für viele Menschen im Alltag keine Rolle spielt, welche psychologischen Barrieren Menschen vom Handeln abhalten und was wir in der Schule tun können, um diese Haltung zu ändern.

- A. Risiken und Konsequenzen werden nicht erkannt:** Anscheinend ist für den überwiegenden Teil der Menschen noch unklar, was der Klimawandel auch für sie bedeutet. Der Klimawandel scheint zeitlich und räumlich weit entfernt, viele Menschen verbinden kein akutes Risiko damit.
- B. Der eigene Einfluss wird unterschätzt:** Manche verstecken sich hinter dem Argument, dass solange z. B. die USA und China ihren Kohlenstoffdioxid-Ausstoß nicht reduzieren und Millionen Autofahrer den Klimawandel beschleunigen, jegliche individuelle Anstrengung sinnlos sei. Das Gefühl, allein nichts ausrichten zu können, zieht

uns aus der Verantwortung – die Problematik wird an die Politik delegiert.

- C. Gewohnheiten:** Tief sitzende Verhaltensweisen sind ebenso ein Hindernis umweltbewussten Handelns. Wir spulen jeden Tag ein Programm ab, sei es die Fahrt zur Schule oder zur Arbeit, ein Coffee-to-go unterwegs oder der Shopping Ausflug am Samstag und das Fliegen um den Globus. Daran etwas zu ändern ist schwierig, aber möglich. Alltagshandlungen sollten hinterfragt werden: „Wie viel Kohlenstoffdioxid kostet das?“.

Mit Berücksichtigung der oben beschriebenen Hürden kann in der Schule nun, sei es im Unterricht oder im Rahmen von Schulprojekten, gehandelt werden. Folgender Ablauf ist denkbar:

1. Den Klimawandel verstehen

Schüler*innen können die wissenschaftlichen Ursachen des Klimawandels erkunden und verstehen. Die theoretischen Aspekte können anschaulich unterstützt von Versuchen vermittelt werden. Hierbei soll das Handbuch „Der Klimawandel: Verstehen und Handeln“ [5] mit den dazugehörigen Versuchen eine Hilfestellung sein (www.klimawandel-schule.de). Mit anschaulichen Versuchen können damit, vom Strahlungsgleichgewicht, der Absorption von Wärmestrahlung durch Kohlenstoffdioxid, über den Albedo-Effekt, bis hin zur Versauerung der Meere und regionalen Auswirkungen des Klimawandels, verschiedene naturwissenschaftliche Zusammenhänge in Lernendenversuche untersucht werden. Unser Projekt transportiert ein äußerst aktuelles Thema mitten in die Schule, denn den Klimawandel zu verstehen platziert die naturwissenschaftliche Fächer in mitten eines relevanten, gesellschaftlichen Kontextes!

2. Konkrete Beispiele der Auswirkungen des Klimawandels in der Region recherchieren und diskutieren

Die unmittelbaren, regionalen und lokalen Auswirkungen des Klimawandels sollen im Unterricht diskutiert werden. Denn wer zum Handeln angeregt werden soll, muss fühlen, sehen und mit der Realität direkt konfrontiert werden. Die Umweltministerien der Länder bieten in ihren Portalen Information über lokale Veränderungen und Auswirkungen des Klimawandels an (Abweichungen der Lufttemperatur vom 30-Jahres-Mittel, Niederschläge, Grundwasserknappheit für die Landwirtschaft, Auftreten von Stürmen und Hitzewellen). Weiterhin bietet sich die Arbeit mit aktuellen Zeitungsartikeln etc. zum Thema an.

Auch könnten z. B. Landwirte interviewt werden, um direkt von Betroffenen zu erfahren, wie sich die Natur in den letzten Jahren verändert hat und was für sie die Folgen eines „weiter so“ wären.

3. Die Notwendigkeit zum Handeln wecken

Soll der Anstieg der Erdtemperatur auf zwei Grad begrenzt werden, dürfen bis zum Jahr 2050 insgesamt maximal 890 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre ausgestoßen werden. Für Deutschland sind das insgesamt 9,9 Milliarden Tonnen, was im Mittel 300 Millionen Tonnen pro Jahr bis 2050 entspricht; für Österreich sind das 1,0 Milliarde Tonnen, was im Mittel 30,3 Millionen Tonnen pro Jahr entspricht; für die Schweiz sind das 0,45 Milliarden Tonnen, was 13,2 Millionen Tonnen pro Jahr entspricht. Im Jahr 2017 hat aber Deutschland nach Zahlen des Umweltbundesamts insgesamt 905 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid ausgestoßen, so viel wie der gesamte weltweite Flugverkehr! Der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid in Deutschland muss also reduziert werden. Dies kann mit erneuerbaren Energiequellen allein nicht gelöst werden [6], sondern hängt auch ganz allgemein mit unserem Lebensstandard zusammen. Wenn alle Menschen der Welt mit dem Lebensstandard Deutschlands leben würden, benötigten wir drei Erden! Unser Energieverbrauch muss reduziert werden!

4. Gruppen- und Schulprojekte

Um aus der psychologischen Lähmung heraus zu kommen, kann in der Schule über vorbildliche Projekte berichtet werden, in denen kleine Gruppen von Schüler*innen Großes bewirkt haben. Zusätzlich können große Visionen entworfen werden: Wie wäre es, wenn wir zeigen würden, dass der Wohlstand unser Landes auf erneuerbaren Energien basieren kann und es dadurch ein Vorbild für die ganze Welt wird? Das Buch „Wenn nicht jetzt, wann dann“ [7] präsentiert zahlreichen Beispielen, wie wir mit Widersprüchen bezüglich unserem Verhalten umgehen können, und erörtern Handlungsmöglichkeiten und Ideen für ein gedeihliches Zusammenleben.

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

Literatur

[1] www.exoplanet.eu

[2] Glen Forcus, *palaeotemps G2*

[3] Wikipedia

[4] Spiegel Online; The Global Carbon Project, Nature, Rahmstorf

[5] Scorza, C., H. Lesch, M. Strähle, und D. Sörgel, *Der Klimawandel: verstehen und handeln*. 2018. Veröffentlichung der Physik Fakultät der LMU, München, Website: www.klimawandel-schule.de

[6] Holler, C. und J. Gaukel, *Erneuerbare Energien ohne heiße Luft*. 2019: UIT Cambridge.

[7] Lesch, H. und Kamphausen, K., *Wenn nicht jetzt, wann dann*. 2018: Pinguine-Verlag.

Kritisches Denken im Kontext des Klimawandels

Susanne Rafolt und Suzanne Kapelari

Einleitung

Im September 2019 erreichte österreichische Lehrer*innen eine Nachricht der Bildungsministerin Iris Rauskala [1]. In dieser nimmt sie Stellung zum Earth Strike der „Fridays for future“-Bewegung, der am 27. September 2019 stattfand:

„Das Kennenlernen der Demonstration als demokratiepolitisches Instrument sowie die außerschulische Diskussion der Themen Nachhaltigkeit und Klimaschutz sind deshalb bei entsprechender Vor- und Nachbereitung als Ergänzung des Unterrichts zulässig. Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung geht deshalb davon aus, dass bereits im Vorfeld eine besondere Sensibilisierung der Thematik Umwelt- und Klimaschutz im Rahmen des Unterrichts am jeweiligen Schulstandort erfolgt. Die diesbezüglichen aus der Teilnahme gewonnenen Erkenntnisse sind in weiterer Folge in den jeweiligen Unterrichtsgegenständen entsprechend zu reflektieren.“ [1]

Wenn Lehrer*innen veranlasst sind, im Unterricht die Themen Umwelt- und Klimaschutz „entsprechend zu reflektieren“, heißt das, sie sollen gemeinsam mit ihren Schülern*Schülerinnen kritisch denken? Und wenn ja, was bedeutet kritisches Denken eigentlich?

Mit diesem Artikel möchten wir zur Klärung des Begriffes und vor allem des abstrakten Gehaltes, der mit der Formulierung „kritisches Denken“ umschrieben wird, beitragen. Wir zeigen zunächst, dass kritisches Denken ein Bildungsziel ist und erklären in der Folge, was unter kritischem Denken im Kontext der naturwissenschaftlichen Bildung verstanden werden kann. Abschließend diskutieren wir Merkmale des kritischen Denkens im Kontext des öffentlichen Diskurses zum Klimawandel. Da wir nicht im Bereich der Thematik Klimawandel forschen, haben wir für diesen Artikel keine konkreten, durch Daten gestützte, Beispiele recherchiert und aufbereitet. Wir möchten aufzeigen, worauf kritische Denker*innen in der Auseinandersetzung mit der Thematik Klimawandel achten und dabei auf die Komplexität des Bildungsziels kritisches Denken anhand dieses konkreten Beispiels aufmerksam machen. Wir verstehen den Inhalt dieses Artikels nicht als Anleitung, sondern als Inspiration und Möglichkeit der Reflexion. Die angegebenen Quellen können ein Ausgangspunkt für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien oder der eigenständigen Recherche sein.

1. Bildungsziel kritisches Denken

Die Einführung des kompetenzorientierten Unterrichts hat in erster Linie eine Veränderung der Sichtweise auf den Unterricht eingeleitet. Die Kompetenzorientierung rückt eine systemisch komplexere Sichtweise ins Zentrum [2]. Bildungsstandards, wie der europäische und nationale Qualifikationsrahmen (NQR) [3], beschreiben, was Menschen auf einem bestimmten

Qualifizierungsniveau wissen und können sollen. Darauf aufbauend wurden und werden nationale Lehrpläne und Curricula, z. B. die der Universitäten und Hochschulen, entwickelt. Sie machen deutlich, dass Schulunterricht und Hochschulstudium neben dem Ausbildungs- auch einen Bildungsauftrag erfüllen müssen. In Hinblick auf das Lehren und Lernen in der Schule und Hochschule hat der kompetenzorientierte Unterricht einen Paradigmenwechsel eingeläutet, der die Verantwortung für das Lernen in die Hände der Lernenden legt. Junge Menschen werden nicht mehr gebildet, sondern sie bilden sich. Es geht nicht nur darum, etwas zu können, sondern die Absolvent*innen streben danach, kompetent in der Welt zu agieren [4]. Der NQR und die Lehrpläne weisen darauf hin, dass kompetentes Agieren kritisches Denken und Reflexion bedingen [5, 6]. Lehrer*innen sind angehalten, Lernende dabei zu unterstützen, Kompetenzen in Form von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu üben und weiterzuentwickeln, die ihnen dabei helfen, kritische Denker*innen zu werden [6, 7]. Allerdings wird nicht konkretisiert, wie kritisches Denken geübt und gelebt werden kann. Weder der NQR noch die österreichischen, deutschen oder schweizerischen Lehrpläne geben Auskunft darüber, was unter kritischem Denken eigentlich verstanden wird, oder woran sich eine positive Entwicklung in Hinblick auf die Fähigkeiten und Haltungen, die kritische Denker*innen auszeichnen, beobachten lässt [7]. Wenn nicht kommuniziert wird, welche Kriterien kritisches Denken als Bildungsziel auszeichnen, werden Akteure*Akteurinnen ihre Alltagsvorstellungen als Referenz heranziehen. Die Medienberichterstattung zeigt, dass Kritik und kritisches Denken sowohl als Zeichen intellektueller Unabhängigkeit als auch als Ablehnung interpretiert wird. Einerseits scheint es etwas Positives und für die Gesellschaft Wünschenswertes zu sein, dass ihre Bürger*innen kritisch denken. So heißt es beispielsweise, *„in den Schulen solle es mehr Unterricht in kritischem Denken geben“*, um Pseudowissenschaften als Humbug zu entlarven [8]. Die Neos-Pressesprecherin Henrike Brandstötter zum Beispiel fordert ein Pflichtfach kritisches Denken [9]. Andererseits zeigen die folgenden Beispiele, dass dem Kritikbegriff auch etwas Negatives anhaftet. Ein Studienautor erklärte in einem Radiointerview, dass in jenen Ländern, in denen über Muslim*innen medial „kritisch berichtet werde“ und „der Diskurs [über diese] sehr kritisch sei“, auch die Fremdenfeindlichkeit zunehmen würde [10]. Diese Aussagen wurden in abgewandelter Form als Schlagzeile in vielen Medien verbreitet. Dabei wurden die Teilnehmer*innen der Studie gar nicht gefragt, ob sie gegenüber dem Islam oder den Muslim*innen kritisch sind. Die Ablehnung, die einige der Befragten äußerten, wurde mit Kritik gleichgesetzt. Auf der Homepage des Mitteldeutschen Rundfunks [11] wird erklärt, dass für Wissenschaftler*innen der anthropogene Klima-

wandel als Tatsache gilt, dass es aber diesbezüglich „auch kritische Stimmen“ gäbe [11]. Diese Formulierung lässt den Schluss zu, dass diese zu jenen Personen gehören, die den menschenverursachten Klimawandel anzweifeln oder leugnen. Auch der deutsche Bundestagsfraktionsvorsitzende der AfD bedient sich des Kritikbegriffs auf ähnliche Weise:

„Die Kritik an der sogenannten Klimaschutzpolitik ist nach dem Euro und der Zuwanderung das dritte große Thema für die AfD“, sagte Alexander Gauland der ‚Welt am Sonntag‘. ‚Wir haben damit ein Alleinstellungsmerkmal, weil alle anderen Parteien ja den Irrsinn mitmachen, den Greta Thunberg neuerlich angeheizt hat, als sie vor den Vereinten Nationen ausrastete.“ [12]. Die Wortwahl Gaulands legt nahe, dass er die Klimaschutzpolitik nicht kritisiert, sondern ablehnt. Aufgrund dieser vielfachen Interpretationsmöglichkeiten möchten wir im Folgenden aufzeigen, welche Überlegungen eigentlich hinter dem Konzept des kritisches Denkens stehen.

2. Kritisches Denken als Synergie zahlreicher Fähigkeiten und Dispositionen

Der Diskurs darüber, was kritisches Denken bedeutet und was kritische Denker*innen auszeichnet, zieht sich über Jahrhunderte. Heute verstehen Wissenschaftler*innen unter kritischem Denken ein komplexes Zusammenspiel einer Vielzahl von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Dispositionen, die dazu beitragen, sich ein fundiertes Bild über eine Situation zu machen, aber auch die eigene Position zu hinterfragen und zu reflektieren [13]. Der wissenschaftliche Diskurs macht deutlich, dass gesellschaftliche, kulturelle und für einzelne Forschungszweige typische Gewichtungen die Bewertung von Denkprozessen beeinflussen. „*Ein Verständnis dafür, was kritisches Denken bedeutet, muss folglich für jeden einzelnen, für jede Situation, erst interpretiert werden, und je nachdem, wer diese Interpretation anstellt, würden manche Aspekte mehr andere weniger hervorgehoben werden*“ [14, S. 3]. Im alltagsprachlichen Diskurs verwendete Vereinfachungen (z. B. Kritisches Denken ist das Hinterfragen der Mehrheitsmeinung; ist Skepsis; ist widerborstig sein; ist Ablehnung) tragen wenig dazu bei, um im schulischen Kontext unterschiedliche Qualitäten und Tiefenniveaus von Denkprozessen zu veranschaulichen. Schüler*innen können nicht zu kritischen Denker*innen gemacht werden, aber es können Angebote geschaffen werden, welche die Entwicklung eines differenzierten Verständnisses über kritisches Denken unterstützen. Daher ist es wichtig, in Lehrplänen und im Unterricht zu klären, was kritisches Denken bedeuten kann, oder zumindest ein vereinfachtes Modell anzubieten, um entsprechende Denkprozesse zu veranschaulichen. Das Synergiemodell des kritisches Denkens (SMKD) ist so ein Angebot (Abbildung 1). Es wurde aus der Analyse eines umfangreichen Spektrums an Literatur entwickelt [z. B. 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21]. Ein frei zugänglicher Artikel [13] beschreibt eine Variante des SMKD detaillierter, als es im Rahmen dieser Publikation möglich ist. Die folgende Beschreibung ist zudem

freilich ein Idealzustand, den wohl kaum ein Mensch (dauerhaft und in jedem Kontext) erreicht.

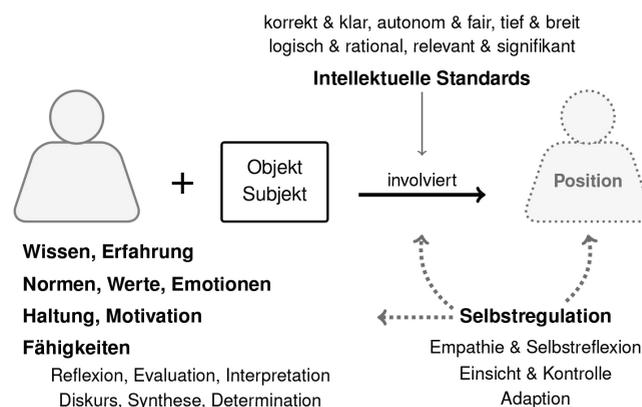


Abbildung 1: Synergiemodell des kritisches Denkens (SMKD).

Das SMKD visualisiert idealtypisches kritisches Denken als ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Charakteristika. Diese sind intellektuelle Standards, Wissen und Erfahrungen, Motivation und Haltungen, Werte und Emotionen, kognitive Fähigkeiten und Selbstregulation. Im Kontext der Naturwissenschaften greift es naturwissenschaftliche Prinzipien rationalen Denkens auf und verschränkt diese mit personenbezogenen (subjektiven) Elementen, denen sich der kritische Denker bzw. die kritische Denkerin bewusst ist. Charakteristische Komponenten des kritisches Denkens sind teilweise nicht klar voneinander abgrenzbar, sondern miteinander verbunden und bauen nicht unbedingt aufeinander auf.

Kritische Denker*innen setzen sich mit einem **Objekt oder Subjekt**, z. B. einem Problem oder einer Behauptung, auseinander. Dies führt zu einer individuellen, veränderbaren und eventuell auch nur vorübergehenden **Positionierung**. Kritisches Denken erfolgt zielgerichtet (z. B. Positionierung oder Änderung der erreichten Position) und kriteriengeleitet (s. Intellektuelle Standards; s. Selbstregulation). **Intellektuelle Standards** (Korrektheit, Klarheit und Präzision, Relevanz und Signifikanz, Autonomie, Fairness und Neutralität, Logik und Rationalität sowie Breite und Tiefe) [15] und **Selbstregulation** [z. B. 18; 20; 021] leiten die Auseinandersetzung mit einem Objekt oder Subjekt und wirken sich auf alle anderen Merkmale aus. Selbstregulation meint hierbei, dass kritische Denker*innen empathisch ihre Perspektive ändern und sich in Selbstreflexion üben, Fehler und Unzulänglichkeiten einsehen und ihre Denkmuster, Haltungen und Handlungen adaptieren. Sie verfügen über **Wissen und Erfahrung** [17]. Weiters entwickeln sie relevante **Fähigkeiten** und setzen diese ein, beispielsweise recherchieren (Synthese), definieren (Determinierung), argumentieren (Diskussion), bewerten (Evaluation) und durchdenken (Reflexion) sie etwas und leiten etwas ab (Interpretation) [15; 18; 19]. Kritische Denker*innen sind **motiviert** und leben eine bestimmte **Haltung**. So streben sie nach Wissen, Rationalität, Expertise und Wahrheit und sind beispielsweise offen, mutig, kreativ, neugierig, verantwortungs-

bewusst, selbstbewusst, bescheiden und frustrationstolerant [15; 16; 17; 19; 21]. Kritische Denker*innen sind sich ihrer eigenen **Werte und Emotionen** bewusst und setzen sich mit individuellen und gesellschaftlichen **Normen** auseinander. Sie verstehen aber auch die Werte kritischen Denkens. Dazu gehören nicht nur bestimmte Haltungen und intellektuelle Standards, sondern auch ein Verständnis dafür, dass kritisches Denken selbst ein Wert ist [16]. Modelle, wie das SMKD, können dabei helfen, miteinander über Vorstellungen oder Begrifflichkeiten ins Gespräch zu kommen und gemeinsam über deren Bedeutung nachzudenken. Das SMKD dient daher auch dazu, die eigenen Vorstellungen von kritischem Denken zu schärfen und einem undifferenzierten Verständnis entgegenzutreten. In Letzterem sehen wir die Gefahr, dass Ablehnung, sich gegen Allgemeingültiges zu stellen oder bloßes Hinterfragen von Sachverhalten mit kritischem Denken gleichgesetzt wird. Ein solches Verständnis vernachlässigt nicht nur komplexe Denkleistungen, die mit kritischem Denken verbunden sind, sondern klammert auch die Rolle der Emotionen, Werte und Standards aus. Im folgenden Abschnitt zeigen wir, worauf idealtypische kritische Denker*innen in der Auseinandersetzung mit der Thematik Klimawandel achten.

3. Kritisch über den Klimawandel (nach-)denken

Laut österreichischem Sachstandsbericht Klimawandel [22] wirkt sich der Klimawandel hierzulande gravierend auf die Wirtschaft, Kultur, Umwelt und damit auf die Menschen aus. Die Ursachen und Folgen (ökonomische, gesundheitliche etc.) des Klimawandels sowie die diskutierten politischen Maßnahmen sind vielfältig und komplex. Welche Fähigkeiten braucht es und inwiefern spielen Haltungen, Werte und Emotionen eine Rolle, wenn über das Thema kritisch nachgedacht wird? Auf diese Frage möchten wir in den folgenden Absätzen eingehen. Die Aspekte intellektuelle Standards und Selbstregulation diskutieren wir gemeinsam mit den Aspekte Fähigkeiten, Wissen und Erfahrung, Haltung und Motivation sowie Normen, Werte und Emotionen. Es ist wichtig zu verstehen, dass kritische Denker*innen ihr Denken und Handeln zielgerichtet bewerten, kontrollieren und anpassen [vgl. 13]. Sie orientieren sich an **Standards** (Korrektheit, Klarheit und Präzision, Relevanz und Signifikanz, Autonomie, Fairness und Neutralität, Logik und Rationalität sowie Breite und Tiefe) [15] und setzen sie sich empathisch mit ihren Positionen, Fähigkeiten und Werten auseinander, wechseln ihre Perspektiven und können ihre Denkweise oder ihr Handeln adaptieren (**Selbstregulation**). Selbstregulatorische Fähigkeit und Bereitschaft braucht es auch in der Auseinandersetzung mit Aussagen, Werten und Handlungen von anderen, sei es von Individuen, Gruppen oder Institutionen. Die intellektuellen Standards und die Selbstregulation betreffen die Positionierung selbst genauso wie die Prozesse, die zu dieser geführt haben und die im Folgenden bezüglich Klimawandel diskutiert werden.

Fähigkeiten

Unter anderem bemühen sich kritische Denker*innen, die vielfältigen Folgen und Handlungsmöglichkeiten sowie das komplexe Zusammenspiel dieser für verschiedene Bevölkerungsgruppen zu recherchieren, zu kategorisieren, zu reflektieren und zu bewerten. Ein fairer, fundierter und klarer Diskurs ist nicht nur ein Grundprinzip der naturwissenschaftlichen Wissensgenese, sondern auch unerlässlich, um sich ein fundiertes Bild zu machen sowie andere Einstellungen zu verstehen. Kritische Denker*innen prüfen, ob die Argumentation logisch und die Argumente relevant sind. Sie fassen die zur Verfügung gestellten Fakten korrekt und neutral zusammen, recherchieren, studieren und ordnen Quellen ein und vernetzen deren Inhalte. Dabei überlegen sie, ob sie dies objektiv und nicht oberflächlich sowie ohne ‚Tunnelblick‘ gemacht haben.

Wissen und Erfahrung

Idealerweise eruieren kritische Denker*innen den eigenen Wissensstand sowie jenen von Personen, mit denen sie interagieren, prüfen aber auch die Herkunft sowie die Signifikanz der Informationen. Dazu müssen sie ihr Wissen und das von anderen nicht nur mit aktueller Forschungsliteratur vergleichen, sondern diese auch prüfen [21]. Sie ordnen ihre Erfahrung, beispielsweise den Hitzesommer 2018, ein und überlegen, wie individuelle Wahrnehmungen im Vergleich mit Langzeitstudien zu bewerten sind [23]. Sie sind erfahren im Umgang mit Quellen und Argumentationsstrategien. Wenn sich der Wissensstand erweitert oder sich die Faktenlage ändert, akzeptieren sie dies und reflektieren eigene Unzulänglichkeiten. Kritische Denker*innen erkennen die Gefahr von Fehlschlüssen und Halbwissen. Beispielsweise kann der Zusammenhang zwischen der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre und der Temperatur fälschlicherweise verkannt werden [23]. All diese Dinge erfordern ein tiefes und breites Wissen in unterschiedlichen Fachgebieten sowie hoch entwickelte Fähigkeiten (s. o.). Wir gehen davon aus, dass dies Laien, Schüler*innen sowie Lehrer*innen, nicht leisten können. Insbesondere im Rahmen von Unterricht erscheint es uns wichtig, bestimmten Institutionen und deren Wegen der Erkenntnisgewinnung vertrauen zu können [24]. Es gibt Wissen, das so gut begründet ist, dass es nicht dauernd neu in Frage gestellt und geprüft werden muss, vor allem nicht von Laien. Beispielsweise, dass eine erhöhte atmosphärische Kohlenstoffdioxidkonzentration zu einem Anstieg der Temperaturen auf der Erde und zur Versauerung der Meere führt. Es braucht daher ein Verständnis dafür, dass im Rahmen des Unterrichts eine Balance gefunden werden muss. Nicht jeder Sachverhalt kann in seinen Ursachen und Folgen und in Hinblick auf Richtigkeit der Lösungsvorschläge bis in seine letzte Konsequenz analysiert werden. In der Fachliteratur kann man keine wahren Sachstrukturen finden, sondern man begutachtet Wahrscheinlichkeiten, die auf dem Konsens einer Wissenschaftler*innengemeinschaft beruhen. Um im Alltag mit dieser Situation umgehen zu können, muss man sich als Laie auf

verlässliche Quellen, wie auf Informationen des kommunalen Klimaschutz-Netzwerkes „Klimabündnis Österreich“ [25] oder des Climate Change Centre AUSTRIA [26], verlassen können. Andernfalls ist kritisches Denken im Alltag nicht möglich, da jede Information geprüft werden müsste. Kritische Denker*innen fragen sich, ob sie genug wissen und ob ihre Informationen kohärent mit dem wissenschaftlichen Konsens sind. Es braucht ein Verständnis dafür, dass zwar alle das Recht auf Meinungsäußerung haben, es aber Meinungen im Sinne von Beiträgen gibt, die für den Diskurs über den Klimawandel wertvoller sind als andere. Beispielsweise sehen sie ein, dass sie eine Auswirkung des Klimawandels auf die Landwirtschaft nicht so gut beurteilen können, wie ihr Gegenüber, welches sich seit Jahren professionell mit der Thematik beschäftigt. Belanglose Diskussionen, in denen nur geringes Wissen zum Sachverhalt verhandelt wird, sind hingegen, im Sinne eines Hinführens zum Prinzip des kritischen Denkens, kontraproduktiv. Bei Letzterem entsteht der Eindruck, dass jeder kritisch denkt, der eine Meinung hat, unabhängig davon, auf welcher Wissensgrundlage diese gebildet wird.

Haltung und Motivation

Kritische Denker*innen sind auch willens, etwas zu tun. Schülern*Schülerinnen muss klar sein, dass ein komplexes Thema wie der Klimawandel nicht mit einer schnellen Internetrecherche abgehandelt werden kann, sondern ein hohes Maß an Bereitschaft erfordert, um sich eine fundierte Meinung zu erarbeiten. Kritisches Denken ist nicht einfach. Es ist anstrengend und kann frustrierend sein. Es ist wichtig, nicht gleich aufzugeben, sondern sich weiter mit der Thematik zu beschäftigen. Daher streben idealtypische kritische Denker*innen ausdauernd, differenziert, fundiert, rational, wahrheits- und zielorientiert sowie vernunftbasiert nach Wissen, Expertise, Erkenntnis oder Problemlösungen [15; 18; 19]. Für Schüler*innen sowie Lehrer*innen ist das im Unterricht eine große Aufgabe. Wir glauben daher, dass das Ziel in erster Linie sein sollte, Schüler*innen daraufhin zu sensibilisieren, sich stets zu fragen, welche Motivation und Haltung sie mitbringen und inwiefern diese ihre Auseinandersetzung mit der Thematik beeinflussen. Genauso sollten Schüler*innen darauf hingewiesen werden, sich in andere hineinzuversetzen. Sie können sich dazu beispielsweise folgende Fragen stellen:

- Wie hat sich meine Haltung zum Konsum von Nahrungsmitteln oder Gebrauchsgegenständen entwickelt?
- Wie begründen sich verschiedene Haltungen zur klimapolitischen Maßnahmen?
- Wieso möchten Menschen anderer Länder nun auch fliegen und die Welt entdecken?

Kritische Denker*innen sind selbstbewusst und bescheiden. Sie sind bescheiden genug um zu erkennen, dass sie z. B. über das Thema ‚Seltene Erden‘ viel wissen, aber beim Thema Klimawandel noch nicht. Sie weisen selbstbewusst auf Fehlschlüsse hin und verteidigen fundierte Argumentationen. Kritische Denker*innen analysieren, welche Motivation

und Haltungen hinter dem Objekt oder Subjekt, mit dem sie involviert sind, stehen können oder welche Interessen jemand verfolgen könnte. Beispielsweise verstehen sie, dass sich Naturwissenschaftler*innen bzw. Klimaforscher*innen mit Fakten und Mechanismen beschäftigen und politische Entscheidungsträger*innen mit der Frage, was wir als Gesellschaft tun sollen. Sie erkennen, dass die Meinungen von Politikern*Politikerinnen deshalb nicht gleichbedeutend mit jenen von Wissenschaftler*innen sind. Es ist ihnen bewusst, dass Politiker*innen und Wissenschaftler*innen Eigeninteressen verfolgen können. Sie sind sich der eigenen Haltung und Einstellung bewusst und ordnen ihr Wissen und ihre Handlungen in Wertesysteme ein. Kuthe und Kolleg*innen haben Gruppen identifiziert, die sich durch ihre Einstellungen zum Thema Klimawandel unterscheiden [27]. Während beispielsweise die „Gelähmten“ nicht klimafreundlich handeln, weil sie eine große Beunruhigung und Hilflosigkeit verspüren, tun dies die „Unbeteiligten“ aufgrund fehlendem Interesse und Unwissenheit [27, S. 176f]. Findet sich ein kritisch denkender Schüler oder eine kritisch denkende Schülerin in einer dieser Gruppen wieder, wird er bzw. sie gruppenspezifische und motivationale Prozesse reflektieren und individuelle Wahrnehmungen entsprechend artikulieren.

Normen, Werte und Emotionen

Kritische Denker*innen setzen sich mit Normen, Werte und Emotionen auseinander. Sie recherchieren, ordnen, hinterfragen und diskutieren diese. Sie verstehen nicht nur deren Bedeutung, sondern auch, wie sie in der Wissenschaft und in der Gesellschaft zusammenspielen [15; 20]. In Hinblick auf Normen begreifen kritische Denker*innen, dass diese nicht nur das gesellschaftliche Zusammenleben regeln (z. B. Tierrechte), sondern auch die naturwissenschaftliche Wissensgenese (z. B. Nachvollziehbarkeit). Sie können Kritik, die von Klimawissenschaftlern*Klimawissenschaftlerinnen innerhalb des wissenschaftlichen Diskurs geäußert wird, in Hinblick auf ihre Bedeutung für die Entstehung eines wissenschaftlichen Konsenses einordnen. Sie verstehen, dass die Kritik, die von Laien (z. B. Journalist*innen, Politiker*innen, Expert*innen anderer Disziplinen) vorgebracht wird, nicht die gleiche Relevanz und Tragweite hat wie jene von Klimawissenschaftler*innen [28]. Sie beschäftigen sich mit der Frage, welche Normen es lokal, regional und global gibt, die klimafreundliches und -schädliches Verhalten von Menschen regeln. Autoritäten auf institutioneller oder individueller Ebene spielen hierbei eine wichtige Rolle [vgl. 23; 29]. Kritisches Denken gleicht einem Balanceakt zwischen dem Respekt vor diesen Autoritäten und der Auflehnung gegen diese. Weiters beschäftigen sich kritische Denker*innen damit, wie Werte und Emotionen die eigene Position und fremde Positionen beeinflussen [15]. Beispielsweise löst die Vorstellung, Insekten zu verspeisen, bei manchen Menschen Ekel aus, auch wenn sie rational verstehen, dass dies nachhaltig und gesund wäre [33]. Die Chemie als Wissenschaft oder die chemische Industrie können als entscheidende Mitspielerinnen bei der Suche nach

Strategien zur Eindämmung des anthropogenen Klimawandels nicht wahrgenommen werden, wenn sie negativ konnotiert sind. Menschen tendieren dazu, eine Abwehrhaltung gegenüber anderen Positionen einzunehmen, wenn sie eine persönliche Bedrohung wahrnehmen und sie vor für sie unlösbare und als existenziell wahrgenommene Probleme gestellt werden [29]. Sind Angestellte in einem Industriezweig tätig, der Teil eines globalisierten Wirtschaftsnetzes ist, werden diese womöglich gegen die Einschränkung langer Transportwege sein, weil sie dadurch die berufliche und wirtschaftliche Zukunft gefährdet sieht. Weitere Fragen, an denen sich kritische Denker*innen orientieren können, sind beispielsweise: Was bewegt Menschen, die sich gegen den wissenschaftlichen Konsens stellen, dass der Klimawandel auch menschengemacht ist [21]?

- Was bewegt Menschen, die sich gegen den wissenschaftlichen Konsens stellen, zu glauben, dass der Klimawandel auch menschengemacht ist [23]?
- Wieso reagieren manche Menschen auf die Forderung, den Preis für fossile Brennstoffe zu erhöhen, emotional?
- Denke oder handle ich gerade emotional und versuche ich gerade meine eigenen Vorstellungen zu bestätigen [23]?
- Welchen ökonomischen oder ideellen Wert haben Biodiversität und Ökosysteme [30]?
- Wie ist der Handel mit Kohlenstoffdioxid-Reduktionszertifikaten zu bewerten und wieso wird dieser von manchen [31, 32] als Ablasshandel bezeichnet?
- Von wem und wieso werden Anreize geschaffen, damit sich Menschen immer wieder Neues kaufen?

5. Conclusio

Die Einführung des kompetenzorientierten Unterrichts hat in erster Linie eine Veränderung der Sichtweise auf den Unterricht selbst eingeleitet. Die Bewertung von Informationen wird zunehmend dem Individuum übertragen. Parallel dazu wird die Komplexität des von Expert*innen generierten Wissens mit individuellen Erfahrungen und einfachen Schlussfolgerungen auf eine gleiche Stufe gestellt. Während früher Expert*innen Aussagen darüber getätigt haben, was richtig oder falsch ist, liegt diese Entscheidung nun vermehrt beim Individuum. Genauso wird die Verantwortung für den Lernprozess den Schüler*innen übertragen. Allerdings werden die Lehrer*innen nicht aus der Pflicht genommen, diesen Prozess aktiv zu gestalten und

zu unterstützen; da Kompetenzen immer auf solidem und vernetztem Wissen beruhen, kommt dem Fachunterricht eine wichtige Rolle zu. Kritisches Denken wird als entscheidend erachtet, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Das Bildungsziel kritisches Denken sollte im Unterricht allerdings nicht beiläufig angegangen werden. Das SMKD (Abb. 1) ist eine Möglichkeit, Schüler*innen zu zeigen, was kritisches Denken eigentlich ist und wo Herausforderungen liegen. Ein kritischer Denker bzw. eine kritische Denkerin zeichnet sich nicht allein dadurch aus, dass er*sie ein kontroverses Thema ablehnt oder sich gegen die Mehrheit stellt. Dem Aufkommen von unkontrollierter Skepsis oder unbegründeter Ablehnung kann wie folgt begegnet werden: Einerseits sollte Schüler*innen vor Augen geführt werden, dass das Individuum, die Gesellschaft und die Politik nicht immer die gleiche Verantwortung tragen und dass Laien nicht die gleiche Deutungshoheit wie z. B. Klimawissenschaftler*innen haben. Andererseits sollten sich Diskussionen nicht nur um Fakten drehen, sondern es sollte auch auf die Rolle der Emotionen, Werte und Normen, der Haltung und Motivation sowie der Selbstregulation eingegangen werden. Laien haben nicht die Ressourcen (z. B. Zeit, Wissen, Fähigkeiten, Zugang zu Daten), um alle Informationen auf Richtigkeit zu prüfen. Das gilt auch für Lehrer*innen sowie Schüler*innen. Es braucht ein Verständnis dafür, dass im Rahmen des Unterrichts eine Balance gefunden werden muss. Nicht jeder Sachverhalt kann in seinen Ursachen und Folgen und in Hinblick auf die Richtigkeit der Lösungsvorschläge bis in letzter Konsequenz besprochen, analysiert und diskutiert werden. Speziell zur Thematik Klimawandel gibt es viele evidenzbasierte Angebote [z. B. 23], die Schüler*innen wichtige Informationen und Fakten kurz und prägnant vermitteln und denen sie vertrauen können. Uninformierte Diskussionen, in denen jeder seine persönliche Meinung vertritt, sind hingegen im Sinne einer Hinführung zum Prinzip des kritischen Denkens kontraproduktiv. Wir plädieren dafür, dass Klimaforscher*innen in die Schulen eingeladen werden und mit Schüler*innen und Lehrer*innen kritisches Denken zu praktizieren. Sie sollen mit jenen Ressourcen auszustatten, die es ihnen ermöglichen, verlässliche Angebote zu entwickeln und damit Schulen in ihrem Bildungsauftrag zu unterstützen.

Susanne Rafolt *Universität Innsbruck*

Suzanne Kapelari *Universität Innsbruck*

Literatur

- [1] Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (19.09.2019): 'Earth Strike' am 27.09.2019 Information des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung. Abrufbar unter: https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/recht/erlasse/erlass_klima.html [zuletzt abgerufen am 21.10.2019].
- [2] Ziener, G. (2008): Bildungsstandards in der Praxis: Kompetenzorientiert unterrichten (3. Aufl.). Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- [3] Nationale Koordinierungsstelle für den NQR in Österreich (2011): Nationaler Qualifikationsrahmen Österreich. Erläuterungen zu den EQR-Deskriptoren des Niveau V. Abrufbar unter: https://www.qualifikationsregister.at/wp-content/uploads/2018/11/NQR_Infoletter_Deskriptoren5.pdf [zuletzt abgerufen am 21.10.2019].

- [4] Weirer, W., & Paechter, M. (2019): Grundpfeiler kompetenzorientierter Didaktik. In U. Fritz, K. Lauermaun, M. Paechter, M. Stock & W. Weirer (Hrsg.), *Kompetenzorientierter Unterricht* (S. 19-42). Opladen: Barbara Budrich.
- [5] DerStandard.at (26.09.2019): Mehrheit der Österreicher sieht Islam kritisch. Abrufbar unter: <https://www.derstandard.at/story/2000109103695/mehrheit-der-oesterreicher-sehen-islam-kritisch> [zuletzt abgerufen am 29.10.2019].
- [6] BGBl. II Nr. 107/2019. Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, Fassung vom 29.10.2019.
- [7] Rafolt, S., Kapelari, S., & Kremer, K. (2018): Critical Thinking in German-Speaking Biology Curricula of Austria, Germany, Italy and Switzerland. In O. Finlayson, E. McLoughlin, S. Erduran, & P. Childs (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference "Research, Practice and Collaboration in Science Education"* Part 7 (S. 980-989). Dublin: Dublin City University.
- [8] APA (22.10.2019): Kritisches Denken und Kriterienkataloge entlarven Pseudowissenschaft. Abrufbar unter: https://science.apa.at/rubrik/kultur_und_gesellschaft/Kritisches_Denken_und_Kriterienkataloge_entlarven_Pseudowissenschaft/SCI_20191022_SCI39351351651267182 [zuletzt besucht am 24.10.2019].
- [9] Fidler, H. (22.01.2020): Neos-Mediensprecherin: "Pflichtfach kritisches Denken". DerStandard.at. Abrufbar unter: <https://www.derstandard.at/story/2000113560879/neos-mediensprecherin-pflichtfach-kritisches-denken> [zuletzt besucht am 23.04.2020].
- [10] DerStandard.at (26.09.2019): Mehrheit der Österreicher sieht Islam kritisch. Abrufbar unter: <https://www.derstandard.at/story/2000109103695/mehrheit-der-oesterreicher-sehen-islam-kritisch> [zuletzt abgerufen am 29.10.2019].
- [11] Müller, P. (14.10.2019): Faktencheck: 6 Zweifel - 6 Antworten. Der aktuelle Klimawandel soll menschengemacht sein? Ja! Abrufbar unter: <https://www.mdr.de/wissen/klimazweifel-100.html> [zuletzt abgerufen am 8.1.2020].
- [12] DPA (29.09.2019): Gauland: Kritik an Klimaschutzmaßnahmen. Abrufbar unter: https://www.welt.de/newsticker/dpa_nt/infoline_nt/brennpunkte_nt/article201116894/Gauland-Kritik-an-Klimaschutzmassnahmen.html [zuletzt besucht am 10.02.2020].
- [13] Rafolt, S., Kapelari, S., & Kremer, K. (2019): Kritisches Denken im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 63-75.
- [14] Jahn, D. (2013): Was heißt, kritisches Denken fördern. Ein Pragmatischer Beitrag zur Theorie und Didaktik kritischen Nachdenkes. *Mediamanual*, Nr.28. Abrufbar unter: https://www.researchgate.net/publication/322551627_Was_es_heisst_kritisches_Denken_zu_foerdern_Ein_pragmatischer_Beitrag_zur_Theorie_und_Didaktik_kritischen_Nachdenkens [zuletzt abgerufen am 12.1.2020]
- [15] Paul, R. W., & Elder, L. (2014): *Critical thinking: tools for taking charge of your professional and personal life*. Upper Saddle River, Pearson Education.
- [16] Bailin, S., Case, R., Coombs, J. R., & Daniels, L. B. (1999): Conceptualizing critical thinking. *Journal of Curriculum Studies*, 31(3), 285–302.
- [17] Ennis, R. H. (1996): Critical thinking dispositions: their nature and assessability. *Informal Logic*, 18(2&3), 165–182.
- [18] Facione, P. A. (1990): *Critical thinking: a statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction: The Delphi Report (Executive Summary)*. Millbrae: California Academic Press.
- [19] Halpern, D. F. (2014): *Thought and knowledge: an introduction to critical thinking*. New York: Psychology Press.
- [20] Lipman, M. (1988): Critical thinking—what Can it be? *Educational Leadership*, 46, 38–43.
- [21] Kuhn, D. (1999): A Developmental Model of Critical Thinking. *Educational Researcher*, 28(2), 16–26, 46.
- [22] Austrian Panel on Climate Change (2014): *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.
- [23] Lindner, M., & Schuster, A. (03.12.2018, aktualisiert am 31.07.2019): Zehn Fakten zum Klimawandel. ZEIT ONLINE. Abrufbar unter: <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2018-11/klimagipfel-in-katowice-klimawandel-fakten-mythen-globale-erwaermung-wissenschaft> [zuletzt abgerufen am 21.10.2019].
- [24] Winch, C. (2003): Die Entwicklung kritischer Rationalität als pragmatische Aufgabe der Erziehung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 49, 13–32.
- [25] Kaar, M., Ofenböck, J., & Pranz, C. (2019): *Klimafakten. Klimawandel. Vom Wissen zum Handeln. Unterrichtsmaterialien für PädagogInnen und Pädagogen der 9. bis 12. Schulstufe. Klimabündnis Österreich* (Hrsg.). Wien.

Da irrt so manches Physikbuch (Teil 3)

Rainer Pippig

1. Der Regenbogen und die Totalreflexion

Eine kleine Auswahl der fehlerhaften Texte:

„Das schon gebrochene Licht wird an der dem Eintritt gegenüber liegenden Seite des Tropfens reflektiert. Diese sogenannte Totalreflexion kommt zustande, wenn ein Lichtstrahl in ein optisch dünneres Medium übergeht.“ (s. [1])

„An der Rückseite des Wassertropfens wird das Licht totalreflektiert.“ (s. [2])

„Das Licht geht aber an der Rückseite des Tropfens nicht wieder raus, sondern wird an der Grenzschicht zweimal reflektiert. Dadurch kommt es auf derselben Seite, wie es in den Tropfen reinkam, wieder raus und wird erneut gebrochen. Die für diese Totalreflexion erforderlichen Winkel treten nur auf, wenn man die Sonne im Rücken hat.“ [s. [3]]

1.1 Warum es falsch sein muss

Geht man vernünftigerweise davon aus, dass die gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten gleichermaßen an allen Punkten im Inneren des Wassertropfens gelten, so erkennt man, dass uns der Regenbogen stets blenden würde, wenn das helle Sonnenlicht tatsächlich im Inneren totalreflektiert würde. Totalreflexion funktioniert ja wie ein idealer Spiegel.

1.2 Wo steckt der Fehler?

Aus dem Einfallswinkel α erhält man nach dem Brechungsgesetz von Snellius den Brechungswinkel β (Lote gestrichelt).

Der Brechungswinkel $\angle MBA$ zwischen dem gebrochenen Lichtstrahl und dem Lot auf die Kreistangente in B (oder A oder C) kann übrigens deutlich kleiner werden als der Grenzwinkel der Totalreflexion von $48,6^\circ$ für den Übergang Wasser/Luft.

Für beide Punkte B und C gilt übereinstimmend: Der Großteil des Sonnenlichts wird herausgebrochen; nur ein sehr kleiner Teil wird reflektiert.

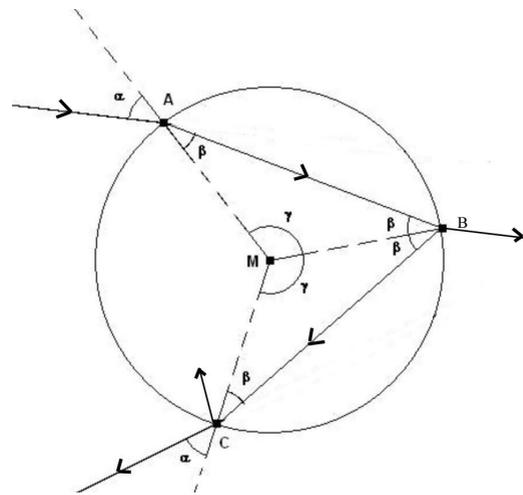


Abbildung: Die Symmetrie des Vorgangs an den Punkten B und C fällt sofort auf. Die Winkel β in A, B und C sind alle gleich groß, weil die gleichschenkligen Dreiecke AMB und CMB kongruent sind. Gäbe es in B Totalreflexion, so müsste es auch in C Totalreflexion geben. Dann käme aber Licht nie mehr aus dem Wassertropfen heraus. In B kann also keine Totalreflexion erfolgen.

1.3 Vorschlag, wie es richtig heißen könnte

Wenn weißes Sonnenlicht auf einen Regentropfen trifft, wird jeder Lichtstrahl an der aufkommenden Kugelfläche gebrochen. An der Außenwand des Tropfens tritt jeweils der größte Teil des Lichts aus; nur ein kleiner Teil wird ins Innere reflektiert. Das geschieht auch bei mehrfachem Auftreffen auf die Grenzschicht zwischen Wasser und Licht.

Dr. Rainer Pippig Der Verfasser arbeitete seit 1976 als Gymnasiallehrer für Physik, als Ausbilder für Referendare am Lehrstuhl für Didaktik der Physik an der LMU München (wo er auch promoviert hat), als Seminarlehrer für Physik am Wittelsbacher-Gymnasium in München sowie bis 2012 als Schulleiter des Gymnasiums Oberhaching. Es ist Autor zahlreicher Schulbücher bei verschiedenen Verlagen.

Literatur

- [1] <http://www.duew.shuttle.de/duew/wheisgy/regenbogen.html>
- [2] <http://www.mbaselt.de/licht/regenbog.htm>
- [3] <https://www.willwissen.net/fragen/119976>

Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht

Johanna Ratzek und Dietmar Höttecke

Im Rahmen des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist der Ausbau des Stromnetzes in Deutschland und Österreich ein zentrales, aktuelles Thema. Konkret geht es um den Bau von Leitungen, um mit Strom die elektrische Energie aus Windparks zu den Verbrauchern – vor allem in den städtischen und industriellen Raum – zu transportieren. Diskussionen beziehen sich vor allem auf das Für und Wider von Oberleitungen gegenüber sogenannten Erdkabeln und beschränken sich nicht allein auf physikalisch-fachwissenschaftliche Aspekte. Eine zentrale Rolle spielen auch Befürchtungen um gesundheitliche Risiken ausgelöst durch elektromagnetische Felder, spezifische, individuelle Interessen oder Sorgen von Betroffenen (z. B. Wertverlust von Grundstücken in Sichtweite von Oberleitungen) und die damit einhergehende Wahrung bestimmter Werte und Normen. Kurz: Der Ausbau des Stromnetzes ist eine aktuelle, exemplarische Herausforderung, die zwar starke naturwissenschaftliche Bezüge aufweist, aber auf keinen Fall allein mit Hilfe naturwissenschaftlicher Sachkompetenz gelöst werden kann. Vielmehr werden hier neben physikalischen und elektrotechnischen auch Bezüge aus der Ökonomie, Medizin, Biologie und der Ethik relevant.

Auftrag des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist es, Lernende zu befähigen, sich Urteile in solchen Fragestellungen zu bilden, zu Problemlösungen beizutragen und an gesellschaftlichen Diskursen zu partizipieren. Die Bewertung solcher Kontexte bedarf neben dem Einbezug fachwissenschaftlicher Erkenntnisse aus unterschiedlichen Domänen auch der Berücksichtigung ethischer Aspekte, individueller, institutioneller oder gesellschaftlicher Interessen sowie deren Implikationen. Der Begriff der ethischen Bewertungskompetenz trägt diesem weiten Verständnis des Bewertens Rechnung [1, 2].

Ziel dieses Beitrags ist es, Orientierungswissen zu bieten, das für ein Verständnis ethischer Bewertungskompetenz unerlässlich und bei der Planung bewertungskompetenzfördernden Unterrichts hilfreich sein kann. Der Fokus liegt auf verschiedenen Bezugspunkten ethischen Bewertens, die in Abbildung 1 dargestellt sind. Zur Konkretisierung wird abschließend auf ein bestehendes Modell ethischer Urteils- bzw. Bewertungskompetenz zurückgegriffen, das im Unterricht zu fördernde Aspekte expliziert.



Abbildung 1: Übersicht über die Bezugspunkte ethischen Bewertens. Argumente bezüglich des Interesses, Sachwissens sowie Werten und Normen werden mithilfe rationaler oder intuitiver Strategien verarbeitet und dieser Prozess mündet in einer ethischen Bewertung. Erfahrungen, Überzeugungen und die Lebenswelt der Bewertenden beeinflussen den Prozess.

1. Fachliches und ethisches Bewerten am Beispiel des Stromnetzausbaus

Beim eingangs erwähnten Beispiel zum Ausbau des Stromnetzes diskutieren Anwohner*innen, Politiker*innen, Bürgerinitiativen und Energieunternehmen verschiedene Möglichkeiten der Realisierung. Der Beitrag beschränkt sich zur Illustration auf zwei der Möglichkeiten: Es könnten (1.) mit Wechselstrom betriebene Oberleitungen oder (2.) mit Gleichstrom betriebene Erdkabel verlegt werden. Angenommen Lernende wollen die Möglichkeiten vergleichen und eine Bewertung auf der Basis naturwissenschaftlichen Fachwissens vornehmen, dann brauchen sie z. B. folgendes physikalisches Sachwissen.

Ein Gleichstromkabel ist von einem konstanten Magnetfeld umgeben und das Magnetfeld um ein Kabel mit Wechselstrom ändert kontinuierlich die Feldrichtung. Beide unterscheiden sich auch in Bezug auf die Abnahme der magnetischen Flussdichte mit dem Abstand zur Stromleitung [3]. Bei Erdkabeln nimmt die magnetische Flussdichte seitlich mit dem Abstand zur Stromleitung deutlich stärker ab als bei Oberleitungen. Direkt über Erdkabeln ist die Flussdichte jedoch deutlich höher als direkt unter Oberleitungen. Neben Kenntnissen zu den elektromagnetischen Feldern um stromführende Kabel ist für die fachwissenschaftliche Bewertung auch ein Vergleich der Wirkungsgrade bzw. der Verluste bei der Übertragung grundlegend. Hierfür brauchen Lernende vor allem physikalisches Wissen zu Widerständen [4]. Die Leistung beider Stromleitungsarten wird vom Ohmschen Widerstand beeinflusst, die Leistung von Wechselstrom führenden Leitungen wird zusätzlich durch induktive und

kapazitive Widerstände reduziert. Nach der Erarbeitung solchen Sachwissens können Lernende unter Berücksichtigung technischer Fakten zu einer fachwissenschaftlichen Bewertung kommen in Bezug darauf, welche Leitung von den stärkeren Feldern umgeben ist und welche Wirkungsgrade Oberleitungen und Erdkabel aufweisen.

In aktuellen Diskussionen über das Thema elektrischer Energietransport und die unterschiedlichen Möglichkeiten des Stromnetzausbaus wird auch auf die gesundheitlichen Auswirkungen von magnetischen Feldern in der Nähe von Stromleitungen Bezug genommen. Eine rein physikalisch-technische Bewertung führt noch nicht zu einer Bewertung gesundheitlicher Risiken. Bezüglich der gesundheitlichen Auswirkungen von magnetischen Feldern in der Nähe von Stromleitungen liegt unsichere Evidenz vor, ob Oberleitungen ein höheres Leukämierisiko nach sich ziehen oder nicht. Diese Unsicherheit darf nicht zu einer Relativierung der wissenschaftlichen Aussagen und einem Vertagen der Entscheidung führen. Schließlich stehen Gesellschaft und Politik unter Handlungsdruck, auch wenn die wissenschaftliche Befundlage nicht immer klar ist, sodass auch Lernende trotz unsicherer Evidenz in die Lage versetzt werden sollten, eine ethische Bewertung inklusive der Kalkulation des Risikos und der Wahrscheinlichkeit für gesundheitliche Schäden vorzunehmen [2]. Die für eine solche Abschätzung benötigten Informationen können von den Lernenden nicht eigenständig erhoben werden. Vielmehr müssen die Urteilenden Informationen bezüglich der Risiken und des jeweiligen Nutzens unterschiedlicher technischer Möglichkeiten in den Medien bzw. bei Expert*innen sammeln. Hierfür müssen sie lernen, welche Medien und welche Expert*innen glaubwürdig sind, welche Interessen diese vertreten, ob sie u. U. für eine bestimmte Lobbygruppe sprechen oder sogar von dieser bezahlt werden. Grundsätzlich ist die Glaubwürdigkeit von Expert*innen höher, wenn ihre Forschung keinem Interessenskonflikt (objektive Befundlage erzeugen – Interesse industrieller Kapitalgeber bedienen) ausgesetzt ist.

Eine umfassende ethische Bewertung zeichnet aus, dass neben naturwissenschaftlichem Sachwissen auch z. B. die Quellen von Erkenntnissen und Meinungen, ihre Glaubwürdigkeit, die Risiken von Möglichkeiten sowie die Wahrscheinlichkeit für deren Eintreten bedacht werden [5].

2. Ziel der Förderung der Fähigkeit ethischen Bewertens

Ein Ziel naturwissenschaftlicher Bildung ist scientific literacy, die häufig mit naturwissenschaftlicher Grundbildung übersetzt und vor allem aus den PISA-Studien bekannt ist [6]. Mit dem Begriff ist die Annahme verknüpft, dass eine naturwissenschaftliche Grundbildung es Menschen ermöglicht, an der modernen technologisierten Gesellschaft teilzuhaben, diese zu gestalten und an Prozessen der gesellschaftlichen Meinungsbildung zu partizipieren [6]. In einem Unterricht,

der Lernenden eine naturwissenschaftliche Grundbildung ermöglichen will, muss nicht bloß Fachwissen, sondern auch Wissen über naturwissenschaftliche Methoden, die Ursprünge und die Entstehung naturwissenschaftlichen Wissens vermittelt werden [6]. Dies befähigt Lernende bei Fragen mit naturwissenschaftlichem Bezug, wie dem Ausbau des Stromnetzes, auch unter Zuhilfenahme verschiedener Quellen, Handlungs- bzw. Lösungsmöglichkeiten zu generieren, diese zu beurteilen und eine eigene, fundierte Meinung zu entwickeln. Das österreichische Kompetenzmodell für die Naturwissenschaften legitimiert eine Förderung ethischer Bewertungskompetenz und hebt Partizipation als Bildungsziel hervor. Die Handlungskompetenz „Schlüsse bzw. Konsequenzen ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln“ findet sich sowohl im Kompetenzmodell für die Unterstufe [7] als auch in den Richtlinien für die kompetenzorientierte Reifeprüfung in Physik [8] und Chemie [9]. Die Zieldimension „Ich kann einzeln oder im Team Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich, für die Gesellschaft und global erkennen, um verantwortungsbewusst handeln zu können“ [8 und ähnlich in 7, 9] verweist auf (ethisches) Bewerten mit dem Ziel des verantwortungsbewussten Handelns, also der Partizipation. Das Kompetenzmodell weist auch darauf hin, dass Lernende in der Lage sein sollen „Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen“ zu können [7 und ähnlich in 8, 9]. Das Sammeln von Informationen aus verschiedenen Quellen und das Einschätzen ihrer Glaubwürdigkeit ist, wie erwähnt, Bestandteil ethischen Bewertens. Konkret für unser Beispiel hieße es, Lernende in die Lage zu versetzen, sich erstens Informationen beschaffen und zweitens prüfen zu können, wer mit welchem Hintergrund und welchen Interessen eine bestimmte Position für oder gegen den Ausbau einnimmt. Die Förderung ethischer Bewertungskompetenz ist damit Aufgabe und Teil des Naturwissenschaftsunterrichts und im Einklang mit dem Ziel einer scientific literacy wird die Befähigung zur gesellschaftlichen Partizipation der Lernenden angestrebt.

3. Wissen über Bewerten und Urteilen

Um ethisches Bewerten und das Vorgehen dabei näher bestimmen zu können, wird im Folgenden auf Forschung zum Urteilsverhalten des Menschen Bezug genommen. Es lassen sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten unterscheiden, durch die man zu einer Bewertung kommen kann: überlegt und rational oder unbewusst und intuitiv.

Ein Beispiel für eine Strategie zum rationalen Entscheiden ist die MAU-Theorie (Multi-Attribute-Utility) [10], die auch als Vorgehensweise von „Stiftung Warentest“ bekannt ist. Will man beispielsweise eine neue Kaffeemaschine erwerben, erhält man nach Attributen (Preis, Verarbeitung, Leistung, Wassertank usw.) geordnete und gewichtete Informationen, die in ein Gesamturteil münden.

Auf den naturwissenschaftlichen Unterricht bezogen heißt das, Lernende könnten bei der rationalen Bewertung des Stromnetzausbaus im Rahmen des Unterrichts diese Strategie anwenden. Voraussetzung ist, dass den Lernenden vollständiges Wissen in allen zur Beurteilung benötigten Bereichen zugänglich ist (fachphysikalisch, gesundheitlich usw.). In einem ersten Schritt müssen die möglichen Entscheidungsoptionen (Im Beispiel: (1.) Mit Wechselstrom betriebene Oberleitungen oder (2.) mit Gleichstrom betriebene Erdkabel) identifiziert oder generiert werden. Anschließend werden Attribute der verschiedenen Optionen ausgemacht (Gesundheitsrisiken, Wirkungsgrad, Eingriff in die Natur) und (meist) numerisch gewichtet. Die Vermeidung möglicher Gesundheitsrisiken für den Menschen könnte z. B. als wichtiger eingestuft werden als der Wirkungsgrad der Technik oder der Eingriff in die Natur durch den Bau. Anschließend kann der Gesamtnutzenwert der einzelnen Optionen durch Summieren der Werte einer Option auf den einzelnen gewichteten Attributen berechnet werden. Für Erdkabel würde sich der Gesamtnutzenwert beispielsweise aus den unsicheren Gesundheitsrisiken, dem relativ guten Wirkungsgrad und den starken, aber gering gewichteten, Eingriffen in die Natur ergeben. Die Beurteilung der einzelnen Optionen ist Voraussetzung dafür, dass eine Entscheidung gefällt werden kann; diese fällt im Rahmen der MAU-Theorie idealerweise für die Option, die den höchsten Gesamtnutzenwert aufweist. Die Denkprozesse und die Bewertungen selbst, die durch rationales Überlegen entstehen, sind dem Menschen häufig bewusst und werden überlegt vollzogen.

Eine Fülle von wissenschaftlichen Arbeiten unterstreicht jedoch, dass der Mensch in den meisten Fällen nicht rational entscheidet. Unter dem Stichwort 2-Prozess Modell unterscheidet die Psychologie zwei kognitive Verarbeitungsmodi: kontrollierte und bewusste Prozesse wie beim rationalen Entscheiden und automatische, unbewusst ablaufende Prozesse, die in schnelle Entscheidungen münden [10, 11]. In Alltagsfragen fällt der Mensch Entscheidungen und Urteile in der Regel schnell und automatisch. Dies macht im Alltag handlungsfähig, da der Mensch kognitiv entlastet ist und verschiedene Optionen nicht zeitaufwändig analysieren und vergleichen muss [2]. Der Psychologe Haidt beschreibt eine Möglichkeit, wie die beiden Verarbeitungsmodi (überlegt und rational vs. unbewusst und intuitiv) beim Entscheiden zusammenwirken [12]: Die meisten kennen es, dass sich zu bestimmten Themen sofort ein Urteil einstellt. Auch wenn jemand zusätzliche Informationen erhält, ändert dies häufig nichts an der ersten intuitiven Beurteilung. Vielmehr wird dieses Urteil erst im Nachhinein rationalisiert, indem „post-hoc“ eine Begründung und Rechtfertigung der Intuitionen stattfindet. Auch im Falle der Beurteilung des Stromnetzausbaus kommen viele Lernende sicherlich zu einem sich automatisch einstellenden Urteil, für das im Nachhinein Gründe gesucht werden, wenn es die Aufgabe war, eine Bewertung vorzunehmen.

Die Fähigkeit des schnellen Entscheidens macht den Menschen zwar handlungsfähig, jedoch gibt es Entscheidungsfragen, bei denen eine unbewusste, automatische Auseinandersetzung nicht angebracht ist. Eine eingehende, bewusste Auseinandersetzung ist gerade bei politischen Entscheidungen, die Transparenz erfordern, bei unsicheren Informationen bezüglich der Optionen und ihrer Folgen und einer großen Zahl derer, die von den Folgen betroffen wären, geboten [13].

4. Einfluss von Lebenswelt und Erfahrung

Die im Folgenden erläuterten Erkenntnisse liefern Gründe dafür, dass eine Vermittlung rationaler Entscheidungsstrategien, wie der MAU-Theorie, zur Förderung der (ethischen) Bewertungskompetenz nicht ausreicht, weil die Lebenswelt der Bewertenden und individuelle Erfahrungen und Überzeugungen einen starken, unbewussten Einfluss auf die Bewertung haben. Dies muss bei der Förderung im Unterricht berücksichtigt werden.

In Umweltfragen spielen bspw. Folgen, die in der Zukunft oder räumlich entfernt wirksam werden, eine untergeordnete Rolle bei der Entscheidungsfindung, denn die meisten gewichten ihre eigenen, kurzfristigen Bedürfnisse höher als zukunftsorientierte, gemeinschaftliche Bedürfnisse [2]. Bezogen auf unser Beispiel des Stromnetzausbaus könnte es bedeuten, dass Lernende sich möglicherweise neutraler oder rationaler entscheiden, wenn das Datum für den Bau einer Stromleitung weit in der Zukunft liegt oder es um den Bau in einem anderen Land geht. Im Gegensatz dazu würden vor allem ihre eigenen Interessen und Bedürfnisse in die Bewertung einfließen, wenn es um den Bau in ihrer Nachbarschaft geht. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor beim Bewerten sind individuelle Erfahrungen und damit einhergehende, gefestigte Überzeugungen. Bisherige Erfahrungen und Biographien der Lernenden, ihre familiäre Herkunft, die Menschen, mit denen sie aufwachsen, sowie das schulische Umfeld bestimmen ihr Bewertungsverhalten. Sie beeinflussen, wie eine urteilsbedürftige Situation wahrgenommen wird, und bilden die Grundlage eines Urteils [14]. Die meisten Menschen halten in Bewertungssituationen an bestehenden Erfahrungen und Überzeugungen fest, diese wirken wie Filter. Es zeigt sich z. B. daran, dass Menschen eher solche Informationen bewusst wahrnehmen, die ihre eigene, bestehende Sichtweise bestätigen [10]. Dieser Effekt wird noch dadurch verstärkt, dass häufig auf Basis bestehender Überzeugungen geurteilt wird. Menschen fällen eher ein Urteil, das mit bestehenden Überzeugungen im Einklang steht, statt auf rationale Strategien zurückzugreifen [5]. Wenn eine Person z. B. per se gegen Oberleitungen ist, dann wird sie unbewusst Informationen gegen Oberleitungen suchen und höher gewichten, um ihre These zu stützen. Das Festhalten an den eigenen Überzeugungen hat sich auch in einer Studie gezeigt, in der Lernende im Unterricht Neues lernten, das ihrem ursprünglichen Urteil und ihrer Überzeugung widersprach. Sie integrierten neu Gelerntes nur zögerlich oder gar nicht in ihre Argumentation [15]. Bestehende Überzeugungen sind

schwer zu ändern. Neben der Ablehnung des neu Gelernten kann die Konfrontation mit neuen Fakten, die eigenen Ansichten widersprechen, sogar zu einer Verfestigung der ursprünglichen Meinung führen [16]. In einer Studie wurden Eltern Informationen vorgelegt, die den von Impfgegnern behaupteten Zusammenhang zwischen Impfen und Autismus widerlegten [16]. Bei den Eltern, die Impfungen gegenüber besonders negativ eingestellt waren, führten die Informationen nicht zu einer höheren Impfbereitschaft, vielmehr sank der Anteil derjenigen, die bereit waren, zu impfen [16].

Die Lebenswelt, Erfahrungen und Überzeugungen beeinflussen also stark das individuelle Verhalten beim Bewerten. Da der Einfluss von Intuitionen meist nicht bewusst ist, wird die neutrale und rationale Auseinandersetzung auf diese Weise gehemmt. Aktuelle gesellschaftliche Fragen, für die unsichere oder kontroverse Evidenz vorliegt, wie z. B. nach dem Einfluss von Mobilfunkstrahlung auf den Menschen oder dem Nutzen von Atomenergie als Beitrag zur Dekarbonisierung der Gesellschaft, verlangen nach einer überlegten, rationalen Bewertung [13]. Für die Partizipation an Diskursen zu solchen Fragen ist es essentiell, seine Position verteidigen zu können und ihre subjektiven Hintergründe zu kennen. Lernende brauchen also neben dem fachwissenschaftlichen Sachwissen auch Kenntnis ihres eigenen Bewertungsverhalten. Daher plädieren wir für einen Unterricht, in dem das Bewusstsein für eigenes Bewerten und dessen Einflüsse geschärft wird. Es braucht metakognitive, reflexive Fähigkeiten, um das eigene Bewerten kritisch zu hinterfragen und sich den Einfluss der Intuition bewusst zu machen. Aufgabe 2) des Aufgabenbeispiels *„Meinungen zum Ausbau des Stromnetzes“* enthält Fragen, die im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts entwickelt wurden, und mit denen eine Reflexion des eigenen Entscheidens angeregt werden kann [17].

5. Kompetenzmodell zur ethischen Urteilskompetenz

Wie kann ein Unterricht aussehen, der ethisches Bewerten fördert und dabei berücksichtigt, dass das Verhalten beim Bewerten durch Erfahrungen und Interessen beeinflusst ist? Als Unterstützung zur Planung eines solchen naturwissenschaftlichen Unterrichts kann das Kompetenzmodell zur ethischen Urteilskompetenz für bio- und medizinethische Fragen [18] dienen. Das ursprünglich in der Biologiedidaktik entwickelte Modell lässt sich auf alle anderen naturwissenschaftlichen Fächer anwenden, da die Förderung von Bewertungskompetenz Zieldimension aller Naturwissenschaften ist. Das Modell umfasst die folgenden acht Teilkompetenzen einer umfassenden ethischen Urteils- bzw. Bewertungskompetenz:

- Wahrnehmen und Bewusstmachen der Ursprünge der eigenen Einstellung
- Wahrnehmen und Bewusstmachen der moralisch-ethischen Relevanz eines Problems

- Folgenreflexion
- Beurteilen unter Berücksichtigung von Fakten, Gründen und dahinterliegenden Werten
- Das eigentliche Urteilen
- Ethisches Basiswissen
- Argumentieren
- Perspektivwechsel

Die Teilkompetenzen des „Argumentierens“ und des „Perspektivwechsels“, also der Fähigkeit ein Problem auch aus einer anderen Perspektive zu beurteilen, liegen quer zu den anderen sechs Teilkompetenzen, d. h. sie können nicht isoliert von ihnen betrachtet werden [19]. Das Modell ist anschlussfähig an die vorgestellten Ausführungen zum ethischen Bewerten: Fragestellungen sollen nicht ausschließlich aus einer naturwissenschaftlichen Sicht betrachtet werden, sondern unter Berücksichtigung dahinterliegender Werte und antizipierter Folgen für einen selbst und andere. Das Bewusstsein für den Einfluss eigener Einstellungen, Überzeugungen und der Lebenswelt kann als Teil der Komponente „Bewusstmachen der eigenen Einstellung“ gesehen werden, für die selbstreflexive Fähigkeiten nötig sind [20]. Wir betonen, dass neben Argumenten aus der Ethik und den Naturwissenschaften auch individuelle oder loyalitätsgebundene Interessen Argumente im Beurteilungsprozess sind, und gerade diese einer neutralen Entscheidung entgegenstehen können [21, 1]. Dieser Aspekt ist bei der Förderung mitzudenken, auch wenn er nicht explizit Teil des vorgestellten Modells ist. Lernangebote, durch die sich die vorgestellten Teilkompetenzen ethischer Bewertungskompetenz wirksam fördern lassen, wurden bereits entwickelt und erprobt [siehe z. B. 20, 22]. Sie können bei der gezielten Planung und Durchführung bewertungskompetenzfördernden Unterrichts Orientierung bieten. Weitere exemplarische Aufgabenbeispiele stehen online zur Verfügung. Mithilfe der Aufgabe *„Welchen Flug sollen wir buchen?“* können sich Schüler*innen Strategien des Entscheidens und Urteilens erarbeiten und über deren Angemessenheit nachdenken. Zu diesem Zweck ist die Aufgabe im Rahmen eines laufenden Forschungsprojektes entstanden [17]. Die Charaktere nutzen verschiedene Strategien zum Entscheiden: Anessa eine non-kompensatorische Strategie, Benjamin entscheidet auf der Basis von Routinen, Chris nutzt nur ein Attribut zum Entscheiden und Delia wendet eine kompensatorische Strategie an. Das Wissen über Strukturen des Entscheidens ist Bestandteil der Komponenten des „Urteilens“ und des „Beurteilens unter Berücksichtigung von Fakten, Gründen und dahinterliegenden Werten“. Es ist außerdem die Voraussetzung dafür, dass Schüler*innen ihre eigenen Entscheidungen selbstreflexiv betrachten können. Ein Beispiel hierfür ist die Teilaufgabe 2 unter *„Meinungen zum Ausbau des Stromnetzes“*. Die dazugehörige Aufgabe 1 fordert Schüler*innen explizit zu einer Aktivierung der Teilkompetenz des „Urteilens“ auf.

6. Fazit

Gegenwärtige gesellschaftliche Herausforderungen mit einem naturwissenschaftlichen Bezug, wie z. B. die Diskussionen zum Stromnetzausbau, zur Einführung von Umweltzonen oder zum Verbot von Plastikverpackungen, verlangen nach ethischer Bewertungskompetenz und einer Beurteilung, die neben fachwissenschaftlichen Erkenntnissen auch ethische Aspekte, das eigene oder loyalitätsgebundene Interesse, Risiken etc. berücksichtigt.

In Zusammenhang mit naturwissenschaftlichem Unterricht wird häufig vorausgesetzt, dass Lernende bereits durch Fachwissen ermächtigt werden, Bewertungen vorzunehmen. Eine Förderung des Fachwissens ist nicht ausreichend, da Überzeugungen, Erfahrungen und die Lebenswelt der Lernenden einen großen, aber unbewussten Einfluss auf

das Bewerten haben. Wir plädieren dafür, Lernende darin zu unterstützen, sich z. B. über Reflexion ihre Einstellungen, Emotionen, Intuitionen und deren Einfluss auf das Bewerten, bewusst zu machen. Erst wenn Lernende ihr eigenes Bewertungsverhalten reflektieren, können sie sich bewusst für eine überlegte Urteilsfindung in komplexen Fragen entscheiden. Das Bewusstsein für die eigenen Prozesse beim Bewerten kann dann eine Verbindung zwischen dem gelernten Fachwissen und dessen Anwendung in einem Urteil schaffen.

Johanna Ratzek *Universität Hamburg, Fakultät
Erziehungswissenschaft, Didaktik der Physik*

Dietmar Höttecke *Universität Hamburg, Fakultät
Erziehungswissenschaft, Didaktik der Physik*

Literatur

- [1] Dittmer, A., U. Gebhard, D. Höttecke, und J. Menthe, Ethisches Bewerten im Naturwissenschaftlichen Unterricht: Theoretische Bezugspunkte. in *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2016. 22: p. 97-108.
- [2] Höttecke, D., Die politische Dimension der Naturwissenschaft im Unterricht – Bewerten, Urteilen und Entscheiden. in U. Gebhard, D. Höttecke, und M. Rehm (Hrsg.), *Pädagogik der Naturwissenschaften*. Ein Studienbuch. 2017, Springer VS: Wiesbaden. p. 65-84.
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz (2018). Feldbelastung durch Hochspannungsleitungen: Freileitungen & Erdkabel http://www.bfs.de/DE/themen/emf/netzausbau/basiswissen/feldbelastungen/feldbelastungen_node.html (06.08.2019)
- [4] Wagner, H.-F. (2017). Warum erfolgt Stromübertragung bei hohen Spannungen? <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/strom/hochspannung/> (11.06.2019)
- [5] Höttecke, D. and D. Allchin, Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. in *Science Education*. 2020. 104: p.641-666. <https://doi.org/10.1002/sce.21575>
- [6] Gebhard, U. und M. Rehm, Naturwissenschaft und Bildung. in U. Gebhard, D. Höttecke, und M. Rehm, M. (Hrsg.), *Pädagogik der Naturwissenschaften*. Ein Studienbuch. 2017, Springer VS: Wiesbaden. p. 33-46.
- [7] BIFIE (2011). Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. Vorläufige Endversion. https://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf (03.06.2019)
- [8] BMBF (2012a). Die kompetenzorientierte mündliche Reifeprüfung in den Unterrichtsgegenständen Physik. Empfehlende Richtlinien und Beispiele für Themenpool und Prüfungsaufgaben. https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/ba/reifepruefung_ahs_lfph.pdf?6aanmi (03.06.2019)
- [9] BMBF (2012b). Die kompetenzorientierte mündliche Reifeprüfung in den Unterrichtsgegenständen Chemie. Empfehlende Richtlinien und Beispiele für Themenpool und Prüfungsaufgaben. https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/ba/reifepruefung_ahs_lfch_22323.pdf?6aanmh (03.06.2019)
- [10] Pfister, H.–R., H. Jungermann, und K. Fischer, *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung*. 2017, Springer – Verlag: Berlin, Heidelberg.
- [11] Kahneman, D., *Schnelles Denken, langsames Denken*. 2012. Siedler: München.
- [12] Haidt, J., The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgment. in *Psychological Review*. 2001. 108(4): p. 814 - 834.
- [13] Höbke, C. und J. Menthe, Urteilen und Entscheiden im Kontext Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ein Beitrag zur Begriffsklärung. in J. Menthe, D. Höttecke, I. Eilks, und C. Höbke, (Hrsg.), *Handeln in Zeiten des Klimawandels. Bewerten lernen als Bildungsaufgabe*. 2013, Waxmann: Münster.
- [14] Sander, H. und D. Höttecke, Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. in *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2018. 24: p. 83-98.
- [15] Menthe, J., Wider besseren Wissens?! Conceptual Change: Vermutungen, warum erworbenes Wissen nicht notwendig zur Veränderung des Urteilens und Bewertens führt. in *Zeitschrift für Interpretative Schul- und Unterrichtsforschung*. 2012. 1: p. 161 – 183.
- [16] Nyhan, B., J. Reifler, S. Richey, und G. L. Freed, Effective Messages in Vaccine Promotion: A Randomized Trial. in *Pediatrics*. 2014. 133(4): p. e835 – e842.
- [17] Ratzek, J., S. Schlei und D. Höttecke. Förderung von Bewertungskompetenz durch Reflexion. in S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Wien 2019. Essen: Universität Duisburg-Essen. 2020. p. 495-498.
- [18] Reitschert, K. Und C. Höbke, Wie Schüler ethisch bewerten. Eine qualitative Untersuchung zur Strukturierung und Ausdifferenzierung von Bewertungskompetenz in bioethischen Sachverhalten bei Schülern der Sek. I. in *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2007. 13: p. 125 - 143.
- [19] Bögeholz, S., C. Höbke, D. Höttecke, und J. Menthe, Bewertungskompetenz. in D. Krüger, I. Parchmann, und H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. , 2018, Springer: Berlin, Heidelberg. p. 261 - 281.
- [20] Höbke, C. und N. Alfs, Doping, Gentechnik, Zirkustiere. Bioethik im Unterricht. 2014: Aulis Verlag.
- [21] Höttecke, D., Sachwissen – Werte & Normen – Interessen: Ordnung in die Argumente bringen. Argumente mithilfe der Argumente-Kommode entwickeln und ordnen. in *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. 2013. 134: p. 17-18.
- [22] Alfs, N. und C. Höbke, BT-Mais – Chance oder Risiko. in *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*. 2011. 60: p. 25-29.

Klimawandel im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I

Gerold Stein

1. Einleitung

Die Zeit drängt. Die Klimakrise spitzt sich zu und die Proteste gegen die Versäumnisse der Klimapolitik werden lauter. Eine Umsetzung der Ziele, zu denen sich die internationale Gemeinschaft verpflichtet hat, wird nur durch einen gesamtgesellschaftlichen Kraftakt zu meistern sein. Dem Bildungsbereich kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, denn um das Problem der anthropogenen Erderwärmung als solches zu erkennen und in seiner gesamten Dimension zu erfassen, bedarf es einer Auseinandersetzung mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Phänomens. Wenn wir möglichst alle Gesellschaftsschichten von der Dringlichkeit der Problematik überzeugen und zur aktiven Mithilfe am Klimaschutz motivieren wollen, muss eine umfassende Aufklärungsarbeit im Pflichtschulbereich ansetzen.

Ein umfassender Unterricht zum Thema Klimawandel stellt jedoch nicht nur an die Lernenden, sondern auch an die Lehrenden hohe Anforderungen. Die Auseinandersetzung mit dem sich wandelnden Zustand der Erdatmosphäre und der Rolle, die der Mensch dabei spielt, verlangt eine Vernetzung verschiedener Wissensgebiete aus unterschiedlichen Fachbereichen. Das Thema lässt sich nicht eindeutig einer der klassischen Wissenschaftsdisziplinen zuordnen, geschweige denn einem einzelnen Unterrichtsfach. Zweifellos kommt aber den physikalischen und chemischen Aspekten eine grundlegende Bedeutung zu. In den gängigen Lehrbüchern für den Physik- und Chemieunterricht der Sekundarstufe I wird die Thematik jedoch nur am Rande angeschnitten und im gültigen Lehrplan finden sich bezüglich der anthropogenen Erderhitzung kaum sichere Orientierungspunkte. In der öffentlichen Debatte wird immer noch mit pseudowissenschaftlichen Argumenten Unsicherheit verbreitet und die Problematik häufig verharmlost und heruntergespielt. Zudem werden Absolventinnen und Absolventen pädagogischer Hochschulen bzw. universitärer Lehramtsstudien womöglich nur unzureichend mit fundiertem Fachwissen ausgestattet, auf das sie sich bei der Bearbeitung dieses schwierigen Themas stützen können.

Woran sollen sich also Pädagog*innen orientieren? Wie lässt sich die hochbrisante Thematik in den naturwissenschaftlichen Fachunterricht integrieren?

2. Kernideen zum Klimawandel

In Ermangelung konkreter curricularer Richtlinien gilt es zunächst, übergeordnete Prinzipien oder Leitgedanken zu formulieren, welche die wesentlichen und unverzichtbaren

Grundvorstellungen widerspiegeln. Diese Kernideen („big ideas“) sollen als Ausgangspunkt und Leitfaden zur Unterrichtsgestaltung die Richtung vorgeben. Im Folgenden werden einige solcher Grundgedanken vorgeschlagen, die als Orientierungshilfe bei der Behandlung des anthropogenen Klimawandels im naturwissenschaftlichen Unterricht dienen sollen [1].

Der Klimawandel beruht auf Wechselwirkungen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt und muss als globales ökologisches Problem angesehen werden. Die globalen, übergeordneten Kernideen müssen demnach in weiterem Sinne ökologischer Natur sein:

- Ein Teil eines Systems wirkt sich auf das gesamte System aus.
- Der Mensch ist ein Teil des Systems Erde und existenziell von diesem Gesamtsystem abhängig.
- Lebewesen und ihre Umwelt wirken stets wechselseitig aufeinander ein.
- Gleichgewichtszustände sind maßgeblich für die Stabilität eines Systems.
- Menschliche Eingriffe stören natürliche Gleichgewichte.
- Globale Probleme betreffen alle.
- Think global, act local.

Als themenspezifische Kernideen, die konkreter auf das Phänomen des Klimawandels abzielen, lassen sich folgende Grundgedanken anführen:

- Störungen natürlicher Stoffkreisläufe verändern die Zusammensetzung der Erdatmosphäre.
- Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre ist maßgeblich für das globale Klima.
- Das Klima stellt eine fundamentale Rahmenbedingung für unser Leben dar.
- Die moderne Zivilisation ist an spezielle klimatische Verhältnisse angepasst.

3. Die Dramatik der Situation erschließt sich aus der geschichtlichen Betrachtung

Für ein grundlegendes Problemverständnis spielen klimageschichtliche Aspekte eine wichtige Rolle (speziell was den letzten Punkt der oben angeführten Kernideen betrifft). Zwar war das Klima im Verlauf der mehrere Milliarden Jahre andauernden Erdgeschichte durch ein komplexes

Zusammenspiel verschiedener Einflüsse (z. B. Schwankungen in der Erdumlaufbahn, Kontinentalverschiebung, Änderungen der Sonnenaktivität, natürliche Veränderungen der Treibhausgaskonzentration...) fortwährenden Veränderungen unterworfen, in den vergangenen 10.000 Jahren seit der letzten Eiszeit haben sich jedoch ziemlich stabile Verhältnisse eingestellt. Genau in diesem Zeitabschnitt erfolgte ein maßgeblicher Sprung in der Geschichte der Menschheit: Der Übergang zur Sesshaftigkeit, die Ausbreitung der Landwirtschaft und damit der Beginn unserer modernen Zivilisation. Die Dramatik der aktuellen Situation (für uns Menschen) ergibt sich aus der Tatsache, dass wir das Klimasystem aus jenem Gleichgewichtszustand geworfen haben, der über die gesamte Zeitspanne seit der neolithischen Revolution, während der sich die Menschheit massiv ausbreitete und immer größere Erdregionen immer dichter besiedelt wurden (insbesondere Küstenregionen!), Bestand hatte. Um die Ursachen dieser plötzlichen Veränderung zu verstehen, bedarf es einer Auseinandersetzung mit den zentralen Themen einer naturwissenschaftlichen Betrachtung der anthropogenen Erderwärmung, welche den Bereichen der Physik bzw. Chemie zuzuordnen sind: Treibhauseffekt und Kohlenstoffkreislauf.

4. Die Erde als Wohnraum mit Treibhausgasen zur Wärmedämmung

Treibhausgase spielen eine wesentliche Rolle für den Energiehaushalt unseres Planeten, obwohl sie nur einen sehr geringen Anteil des Gasgemisches der Erdatmosphäre ausmachen. Sie werfen einen Teil der in Richtung Weltall abgegebenen Infrarotstrahlung zur Erdoberfläche zurück und heben so die Temperatur auf ein lebensfreundliches Niveau. Um das Problem der anthropogenen Verstärkung dieses natürlichen Phänomens zu veranschaulichen, ohne auf strahlungsphysikalische Details einzugehen, bietet sich ein Vergleich an, der Lehrinhalte des Physikunterrichts der 7. Schulstufe aus dem Bereich der Wärmelehre (Thema Heizen und Dämmen) mit dem Treibhauseffekt verknüpft:

Die Erde stellt unseren Wohnraum dar, den wir mit einem beheizten Gebäude vergleichen können. Die Treibhausgase übernehmen bei diesem Vergleich die Rolle der Dämmstoffe in der Gebäudehülle, welche die Energieabgabe nach außen vermindern und so ein angenehmes Raumklima schaffen. Die Temperatur unseres Wohnraumes bleibt konstant, solange sich der Energie-Input der Heizung und der Wärmeverlust nach außen die Waage halten. Wenn wir nun die Wärmedämmung verbessern, indem wir mehr Dämmstoffe anbringen, ohne gleichzeitig die Heizung zurückzudrehen, bringen wir die Energiebilanz aus dem Gleichgewicht und die Temperatur wird zwangsläufig steigen.

Die Erde wird von der Sonne beheizt, die den Planeten unablässig mit einer Intensität von ca. 1370 W/m^2 bestrahlt. Während wir nun die Atmosphäre mit immer mehr Treibhausgasen anreichern und somit die Wärmedämmung

eifrig ausbauen, haben wir im Gegenzug nicht die Möglichkeit, die Heizung zurückzudrehen. Die zusätzlichen Treibhausgase können die eintreffende Energie der Sonnenstrahlung nicht abschwächen; sie absorbieren zwar die von der Erde kommende Infrarotstrahlung, sind aber durchlässig für die energiereiche Strahlung, mit der die Sonne uns einheizt. Abgesehen von großtechnischen Lösungen (Stichwort Geoengineering), bleibt uns also nur die Reduktion der Treibhausgasemissionen, um dem Temperaturanstieg mitsamt seinen schlimmen Folgen entgegenzuwirken. Es wird einfach zu heiß in unser aller Wohnraum, wenn wir nicht schleunigst damit aufhören, bei konstant laufender Heizung immer weiter zu dämmen.

Dieser Vergleich mit einem beheizten Gebäude soll den Schüler*innen zur Einsicht verhelfen, dass die Aufheizung der Erde auf eine unausgeglichene Energiebilanz infolge der steigenden Treibhausgaskonzentration zurückzuführen ist. Ein wichtiger Hinweis ist dabei jedoch angebracht, um nicht ein verbreitetes Präkonzept der Lernenden zu untermauern [2]: Die Wirkung der Treibhausgase ist zwar vergleichbar mit der Wirkung einer Isolierschicht aus Dämmstoffplatten, die an der Hausmauer angebracht werden. Allerdings bilden die klimawirksamen Gase entgegen der Vorstellung vieler Schüler*innen keine klar abgegrenzte Schicht in der Atmosphäre, sondern sind gleichmäßig in der Lufthülle verteilt (eher wie in einen wärmedämmenden Putz eingearbeitete Styroporpartikelchen).

5. Der Kohlenstoffkreislauf als zentrales Thema im Chemieunterricht

Besonders wirksame Dämmstoffe in der Hülle unseres Planeten sind Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O). Den weitaus größten Beitrag zur Aufheizung liefert aber bekanntlich das Kohlenstoffdioxid (CO_2), weil dieser Stoff in viel größeren Mengen in die Atmosphäre eingebracht wird. In den vergangenen 10.000 Jahren war der Kohlenstoffdioxidgehalt ebenso wie die Durchschnittstemperatur ziemlich konstant. Seit Beginn der Industrialisierung ist jedoch ein exponentieller Anstieg zu verzeichnen. Wenn wir die junge Generation zur aktiven Mithilfe bewegen wollen, um diesen fatalen Trend möglichst schnell zu stoppen, muss es ein wichtiges Ziel im Chemieunterricht der Pflichtschule sein, die Hintergründe dieser rasanten Zunahme verständlich zu machen. Die Schüler*innen sollen einerseits das Kohlenstoffdioxid als natürlichen und lebenswichtigen Bestandteil der Atmosphäre begreifen und ein Verständnis für natürliche Stoffkreisläufe entwickeln. Zum anderen geht es um die Erkenntnis, dass in Bezug auf den Klimawandel die Quelle des freigesetzten Kohlenstoffdioxid von entscheidender Bedeutung ist.

Eine eingehende Behandlung des Kohlenstoffkreislaufs liefert die Möglichkeit, die oben angeführten Kernideen zum Klimawandel in vielen Bereichen abzudecken. Beispielsweise wird unsere unentrinnbare Eingebundenheit in größere Systeme, die ständige Wechselbeziehung mit unserer Umwelt,

verdeutlicht: indem wir atmen und uns ernähren stehen wir in einem ununterbrochenem stofflichem Austausch mit unserer Umgebung und sind wie alle Lebewesen auf ganz direkter körperlicher Ebene in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf eingebunden.

Was die Bezüge zum Lehrplan betrifft, wird durch eine ausführliche Bearbeitung der Thematik insbesondere der Bereich „verantwortungsbewusste Nutzung von Rohstoffquellen“ ins Licht gerückt. Daneben lassen sich aber auch viele andere im Lehrplan festgeschriebenen Themen ansprechen. Der Kohlenstoff zählt zweifellos zu den wichtigsten Elementen und kann in vielerlei Bereichen exemplarisch zur Erklärung herangezogen werden, etwa beim Atombau und der Bildung von Molekülen, bei der Besprechungen von Oxidationsreaktionen oder der Bildung von sauren Lösungen.

6. Darstellung des Kohlenstoffkreislaufs mithilfe des Speicher-Fluss-Schemas

Zur Darstellung des Kohlenstoffkreislaufes bietet sich das Speicher-Fluss-Schema an [3]. Als Speicher stellt man sich dabei einen Behälter vor, in dem sich eine gewisse Menge eines Stoffes befindet. Durch bestimmte Ursachen kann es zu einem Austausch des Stoffes mit der Umgebung bzw. einem anderen Speicher kommen, wodurch sich die im Behälter befindliche Stoffmenge vergrößern oder verkleinern kann – je nachdem, ob die Zu- oder Abflüsse überwiegen.

Der über lange Zeiträume mehr oder weniger konstante Kohlenstoffdioxidgehalt im vorindustriellen Zeitalter erklärt sich durch den Zustand eines dynamischen Gleichgewichts im Falle des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs. Dieser natürliche Kreislauf lässt sich vereinfacht über die Stoffflüsse zwischen drei Behältern (Kohlenstoffspeicher) darstellen. Als ein Behälter sind die Lebewesen anzusehen, die sich zu einem großen Teil aus Kohlenstoff zusammensetzen. Den zweiten Behälter bilden die Ozeane, in denen Kohlenstoff in Form von Kohlensäure gelöst ist. Den dritten Behälter stellt schließlich die Atmosphäre dar, welche Kohlenstoff hauptsächlich in Form von Kohlenstoffdioxid enthält. Zu Zeiten einer gleichbleibenden atmosphärischen Kohlenstoffdioxidkonzentration müssen die Flüsse zwischen der Atmosphäre und den beiden anderen Speichern im Mittel ausgeglichen sein. Zwischen Atmosphäre und Ozeanen findet ein laufender Gasaustausch statt, wobei jedes Jahr ungefähr die gleiche Menge an Kohlenstoff aus der Atmosphäre in den Ozeanen gebunden wird, wie von diesen wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Auch der Austausch zwischen Lebewesen und Atmosphäre hält sich die Waage. Durch die Kohlenstoffdioxidaufnahme bei der Photosynthese wird der Atmosphäre von den Pflanzen Kohlenstoff entzogen und in der Vegetation gespeichert. Über die Nahrungskette wird ein Teil davon von Tieren und Menschen aufgenommen, welche durch ihre Atmung wieder Kohlenstoffdioxid freisetzen. Der Rest wird zum allergrößten

Teil im Zuge des Zersetzungsprozesses der abgestorbenen Lebewesen an die Atmosphäre zurückgeführt.

Mit der Nutzung von Erdöl, Kohle und Erdgas als Energieträger hat nun der Mensch einen weiteren Kohlenstoffspeicher angezapft und damit den natürlichen Stoffkreislauf aus dem Gleichgewicht gebracht. Einhergehend mit der Frage nach der Herkunft dieser Brennstoffe muss der Begriff „fossile Energieträger“ geklärt werden. Wie aus der Bezeichnung „fossil“ hervorgeht, handelt es sich dabei um Stoffe, die Überresten von Organismen entstammen, welche in weit zurückliegenden erdgeschichtlichen Epochen lebten. Durch die Ablagerung in der Erdkruste war der Kohlenstoff, der durch Photosynthese prähistorischer Pflanzen der damals stark mit Kohlenstoffdioxid angereicherten Atmosphäre entnommen wurde, über Zeiträume von vielen Millionen Jahren dem Stoffkreislauf entzogen. Der Mensch hat es zu Wege gebracht, die einst im Zuge der Photosynthese aufgenommene und nunmehr in den Kohlenwasserstoffverbindungen gespeicherte Sonnenenergie für sich verfügbar zu machen, indem er diese fossilen Energieträger zutage fördert und verbrennt. Als Verbrennungsprodukt bringt das Kohlendioxid den für unvorstellbar lange Zeit unter Verschluss gehaltenen Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre ein. So, als hätten wir ein Ventil geöffnet, sind wir dabei, die unterirdischen Kohlenstoffspeicher, die sich im Laufe von Jahrtausenden gebildet haben, innerhalb kurzer Zeit in die Atmosphäre zu entleeren. Da dieser beträchtliche Eintrag an zusätzlichem Kohlenstoffdioxid bei weitem nicht durch größere Flüsse in die anderen Speicher kompensiert werden kann, ist ein rasanter Anstieg der atmosphärischen Kohlenstoffdioxidkonzentration die unausweichliche Folge.

Diese vereinfachte Darstellung erscheint ausreichend für ein allgemeines Grundverständnis der Problematik. Die Schüler*innen sollen nachvollziehen können, warum weder unsere Atmung noch die Energiegewinnung durch Verbrennung von Holz als nachwachsendem Rohstoff zu einem längerfristigen Kohlenstoffdioxidanstieg führen und daher als klimaneutral betrachtet werden können, wogegen Kohlenstoffdioxidemissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre in die Höhe treiben und somit als Hauptursache für die Aufheizung der Erde anzusehen sind.

7. Handlungsorientierte Umsetzung an einem einfachen Modell

Die Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs mithilfe des Speicher-Fluss-Schemas liefert die vorteilhafte Möglichkeit einer direkten enaktiven Umsetzung an einem einfachen Modell. Benötigt werden vier Wannen, welche die relevanten Kohlenstoffspeicher darstellen und mit den Aufschriften „Atmosphäre“, „Lebewesen“, „Ozeane“ und „Erdkruste“ versehen werden.



Abbildung 1: Material für den Modellversuch zum Kohlenstoffkreislauf

Eine qualitative Darstellung der Flüsse zwischen diesen Speichern erfolgt durch hin und her schöpfen von Wasser zwischen den Wannen durch die Schüler*innen. Da in Bezug auf den Klimawandel die in der Atmosphäre enthaltene Kohlenstoffmenge ausschlaggebend ist, wird zu Beginn der Wasserstand in der entsprechenden Wanne gemessen. Nun soll untersucht werden, wie sich die Stoffflüsse zwischen den Speichern auf den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre auswirken.

Zunächst gilt es, das dynamische Gleichgewicht des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs zu demonstrieren. Dazu beginnen wir mit dem Austausch zwischen Atmosphäre und Lebewesen, an dem wir alle direkt teilhaben. Zwei Personen werden mit gleichgroßen Schöpfern ausgestattet, wobei die eine die Pflanzen repräsentiert und „Photosynthese betreibt“, indem sie Wasser vom Atmosphären- in den Lebewesen-Behälter schöpft, während die andere die Rolle der atmenden Menschen und Tiere übernimmt und in möglichst gleichem Rhythmus den Fluss in der umgekehrten Richtung bewerkstelligt. Nach einiger Zeit wird erneut der Wasserstand in der Atmosphären-Wanne gemessen, der sich wenig überraschend nicht wesentlich verändert hat.

Als nächster Kohlenstoffspeicher wird der Behälter der Ozeane hinzugezogen. Zwei weitere Lernende vollziehen in der Modelldarstellung den ausgewogenen Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Weltmeeren, indem sie wiederum mit gleich großen Schöpfern im gleichen Rhythmus, aber umgekehrter Richtung Wasser von einer Wanne in die andere schöpfen. Mit den nunmehr vier schöpfenden Kindern und drei verschiedenen Behältern ist die Situation zwar schon etwas unübersichtlicher, durch abermalige Messung des Wasserstandes im Atmosphären-Behälter nach einigen Schöpfrunden lässt sich aber belegen, dass sich das System nach wie vor im Zustand eines dynamischen Gleichgewichts befindet – genau wie der globale Kohlenstoffkreislauf 10.000 Jahre lang im vorindustriellen Zeitalter.

Um nun zu demonstrieren, wie seit der industriellen Revolution das System durch die Verbrennung fossiler Energieträger aus dem Gleichgewicht geraten ist, kommt zuletzt die Wanne mit

der Aufschrift „Erdkruste“ ins Spiel. Zur Darstellung der Stoffflüsse reicht diesmal eine zusätzliche Person, die Wasser vom neuen Behälter in die Atmosphären-Wanne schöpft, da nur in einer Richtung ein nennenswerter Fluss stattfindet. Schnell wird klar, dass in dieser Situation der Wasserstand (= Kohlenstoffgehalt) im Atmosphären-Behälter zwangsläufig steigt und der in der Erdkruste gespeicherte Vorrat ausgeschöpft wird.

Den Schüler*innenn wird durch die Arbeit an diesem Modell klar vor Augen geführt, dass die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas aus der Erdkruste die Ursache für den rasanten Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre darstellt. Und da all die zusätzlichen Kohlenstoffdioxidmoleküle die Temperatur unseres Planeten durch Behinderung der Energieabstrahlung weiter in die Höhe treiben, bleibt uns nichts anderes übrig, als unseren Energiebedarf aus anderen Quellen zu decken und vor allem unseren enormen Energie-Hunger zu drosseln, um einer übermäßigen Erhitzung noch zu entgehen.

8. Aufgabenstellungen zum Thema Kohlenstoffkreislauf

Abschließend werden zwei Aufgabenstellungen vorgeschlagen, wie sie den Schüler*innenn nach gründlicher Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufes mithilfe des Speicher-Fluss-Modells vorgelegt werden können. Die Arbeitsblätter der beiden Aufgaben finden sich auf der Homepage www.pluslucis.org/Zeitschrift.html

Die erste Aufgabe dient der Festigung der zuvor am Modell erarbeiteten Inhalte. Die Schüler*innen gestalten mithilfe vorgegebener Elemente eine Grafik zur Veranschaulichung des Kohlenstoffkreislaufs. Dabei ist vor allem auf die richtige Verwendung der als Pfeile symbolisierten Flüsse zwischen den Kohlenstoffspeichern zu achten. Zudem sollen einerseits die Komponenten des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs hervorgehoben werden, zum anderen soll speziell gekennzeichnet werden, welche Elemente das System aus dem aus dem Gleichgewicht bringen und damit die Ursache des verzeichneten Kohlenstoffdioxidanstieges in der Atmosphäre bilden.

Die zweite Aufgabe zielt auf die Anwendung des erarbeiteten Wissens ab. Die Schüler*innen werden mit gängigen Argumenten sogenannter Klimaskeptiker konfrontiert, wie sie vor allem im Internet verbreitet werden. Sie nutzen ihre erworbenen Kenntnisse und Einsichten zum Thema Klimawandel und Kohlenstoffkreislauf, um Aussagen kritisch zu hinterfragen und aus naturwissenschaftlicher Sicht zu bewerten. Es gilt, Widersprüche zur wissenschaftlichen Vorstellung bzw. Fehlschlüsse zu benennen und Aussagen richtig zu stellen.

8. Schlussbemerkungen

Die Beschreibung des Kohlenstoffkreislaufs in der oben dargestellten Weise soll einerseits einem allgemeinen Verständnis von Stoffkreisläufen dienen, vor allem aber den zügigen Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehaltes der Atmosphäre klären, welcher als Hauptgrund für die fortschreitende Klimaveränderung anzusehen ist. Neben der Aufheizung der Erde hat die steigende Kohlenstoffdioxidkonzentration noch eine weitere bedeutsame Folge, die in Zusammenhang mit dem Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Ozeanen steht: Ein höherer Kohlenstoffdioxidanteil der Luft bedeutet auch, dass mehr Kohlenstoffdioxid als Kohlensäure in den Meeren gelöst wird und somit der pH-Wert des Meerwassers sinkt, wodurch schwerwiegende Folgen für das Ökosystem der Ozeane zu befürchten sind. Dieser Aspekt wurde in der Darstellung ausgeklammert. Die Versauerung der Ozeane als wenig beachtetes Umweltproblem bietet sich jedoch an, um den Themenbereich Säuren und Basen im Chemieunterricht mit der hier behandelten Thematik zu verknüpfen.

Der vorliegende Beitrag legt den Fokus auf ein Grundverständnis der anthropogenen Erderwärmung und soll Anregungen zur Umsetzung der Thematik im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I liefern.

Zunächst geht es darum, das Problem zu erkennen: Die Aufheizung unseres Planeten bringt schwerwiegende Folgen für die Lebensumstände der Heranwachenden sowie vieler weiterer Generationen mit sich. Jahrtausende lang konnte sich die menschliche Zivilisation unter weitgehend stabilen klimatischen Verhältnissen entwickeln, jetzt allerdings ist das Klimasystem aus dem Gleichgewicht geraten. Der Grund für diese Destabilisierung liegt in der unausgeglichene Energiebilanz der Erde, die wiederum auf eine Veränderung

der chemischen Zusammensetzung der Gashülle unseres Planeten zurückzuführen ist.

Der nächste Punkt betrifft die Frage nach der Ursache dieser Veränderung und die Erkenntnis, dass es die ungezügelt Nutzung von Energie aus fossilen Brennstoffen ist, welche die Konzentration des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid in die Höhe schnellen lässt.

Allein durch das Verstehen dieser Zusammenhänge ist jedoch noch nichts gewonnen, es liefert nur die Grundlage für den letzten, wichtigsten und womöglich schwierigsten Schritt: bewusst und aktiv an der Lösung des Problems mitzuarbeiten. Das Zeitfenster, das uns bleibt, um das System (auf einem etwas höheren Temperaturniveau) wieder zu stabilisieren, sodass wir die Auswirkungen einigermaßen bewältigen können, wird enger und enger. Da wir aber verstanden haben, dass es unsere Lebensweise ist, die uns in eine so heikle Situation gebracht hat, all die alltäglichen Handlungen, die Energie aus fossilen Brennstoffen erfordern, wissen wir auch, wo die Lösungsstrategien ansetzen müssen. Jetzt ist rasches und entschiedenes Handeln gefragt. Jede einzelne kann Beiträge leisten, um Kohlenstoffdioxidemissionen zu vermeiden, jeder einzelne ist gefordert, Verantwortung zu übernehmen. Das ist wohl die wichtigste Botschaft, die wir den Heranwachenden vermitteln müssen. Denn die große Hoffnung liegt in einem Bewusstseinswandel, der von der jungen Generation getragen wird, und durch den der Druck auf politische Entscheidungsträger forciert und der Geist der „Fridays For Future“ Bewegung immer weiter verbreitet wird.

Gerold Stein *Mittelschule Seitenstetten-Biberbach*

Literatur

- [1] Stein, G., Das Thema Klimawandel im naturwissenschaftlichen Unterricht der Neuen Mittelschule - Ein rückwärtiges Lerndesign. 2016, Bachelorarbeit an der pädagogischen Hochschule: Linz, Oberösterreich.
- [2] Niebert, K., Es wird wärmer, weil mehr Sonne auf die Erde scheint. Wie Lernende sich die globale Erwärmung vorstellen. in *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*. 2009. 20(111/112): p. 20–23.
- [3] Niebert, K., Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. 1. Aufl. 2010, Didaktisches Zentrum: Oldenburg.

Biokunststoffe = umweltfreundlich?

Ein Kooperationsprojekt von Schule und Universität zum werkstofflichen Recycling von Biokunststoffen

Simone Abels, Luca Girod, Ronja Hallerbach, Daniel Pleissner, Antje Reichelt und Catharina Struck

Einleitung und Problemstellung

Kunststoffe sind Segen und Fluch zugleich. Sie bieten aufgrund ihrer Materialeigenschaften vielseitige und flexible Einsatzmöglichkeiten. Ein nicht geringer Teil an Kunststoffen gelangt jedoch in die Umwelt und reichert sich an. So liegt der Zeitraum für die Abbaubarkeit in der Umwelt je nach Kunststoffart bei 100-500 Jahren. Die ökologischen Auswirkungen nehmen massiv zu. Allein in Deutschland wurden 2018 z. B. 1,6 Milliarden Plastiktüten verwendet, in Österreich werden nur im Lebensmittelbereich jährlich 460 Millionen Plastiktüten eingesetzt. In vielen Bereichen könnte auf Kunststoffe verzichtet werden, so wie bereits vermehrt Baumwolltaschen und Papiertüten zum Einsatz kommen oder einiges an Gemüse und Obst lose ohne Kunststoffverpackungen verkauft werden. Und auch der Recyclinganteil ließe sich noch drastisch erhöhen: Von 5,2 Millionen Tonnen Kunststoffabfällen 2017 in Deutschland wurden nur 15,6 % recycelt, in Österreich liegt die Recyclingquote von jährlich 0,9 Millionen Tonnen anfallenden Plastikmülls bei 22,5 %.

Es gibt aber auch Bereiche, z. B. in der Medizin, in denen wir heute nicht mehr auf die Vorteile von Kunststoffen verzichten können. Daher arbeiten Forscher*innen an Kunststoffen, die biologisch abbaubar sind, den sogenannten bioabbaubaren Biokunststoffen. Diese Biokunststoffe haben in Anbetracht der großen Mengen an Kunststoffmüll in der Umwelt an Bedeutung gewonnen, um einer Anreicherung entgegenzuwirken. Die derzeit verfügbaren Biokunststoffe verrotten aber ebenfalls nur schlecht unter natürlichen Bedingungen. Sie gehören auch nicht in die Biomülltonne, um die Qualität des aus Biomüll

produzierten Komposts nicht zu beeinflussen. Weiterhin ist das Recycling von Biokunststoffen kostenintensiv und schwierig in der Umsetzung. Um der Anreicherung von Kunststoffmüll in der Umwelt entgegenzuwirken und Biokunststoffe der Wertschöpfungskette zuzuführen, muss ein recyclingfähiger Biokunststoff entwickelt werden, der sich unter natürlichen Bedingungen in der Umwelt abbaut.

Dieser Problemstellung hat sich ein Team aus Schüler*innen (10. Jahrgang des Gymnasiums Lüneburger Heide), Lehrpersonen, Studierenden, einem Fachwissenschaftler und einer Fachdidaktikerin der Leuphana Universität Lüneburg über zwei Schuljahre hinweg angenommen. Die Ziele der gemeinsamen Arbeit lagen fachwissenschaftlich gesehen darin, Möglichkeiten des werkstofflichen Recyclings von Polymilchsäure (PLA) zu erweitern und umzusetzen, aber auch unter natürlichen Bedingungen abbaubar zu machen. Dazu wurden Möglichkeiten der chemischen Modifizierung von PLA zusammen mit Schüler*innen erforscht. Die ökologischen, ökonomischen und sozialwissenschaftlichen Aspekte des Einsatzes von Biokunststoffen und deren Recycling wurden in unterschiedlichen Schulfächern wie Chemie, Biologie, Politik und Wirtschaft, Deutsch, Englisch und Spanisch untersucht und bewertet sowie die globalen Auswirkungen des Einsatzes von Biokunststoffen fokussiert. Um sich der Problemlage bewusst zu werden, unternahmen die Schüler*innen Exkursionen zum lokalen Abfallentsorger, zum Klärwerk und zum „ocean:labor“ der „kieler forschungswerkstatt“. Sie interviewten außerdem einschlägige Wissenschaftler*innen zu dem Thema (s. Abb. 1).

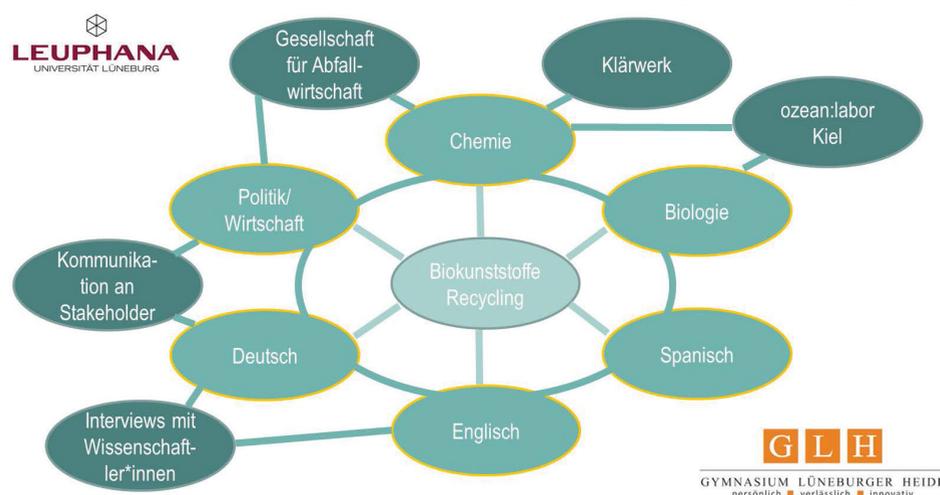


Abbildung 1: Kooperationen im Rahmen des Forschungsprojekts „Biokunststoffe = umweltfreundlich?“

Die Schüler*innen konnten während einer Experimentierwoche im Labor der Leuphana Universität Lüneburg eigenständig erforschen, wie Biokunststoffe für ein Recycling modifiziert werden können und welche Bedingungen zum Recycling benötigt werden. In Workshops an der Schule haben die Wissenschaftler*innen die Schüler*innen auf die Laborwoche vorbereitet und im Nachgang Ergebnisse für einen gemeinsamen Kongress aufbereitet. Während der Workshops wurden die Schüler*innen für das Thema motiviert und in eine Fragehaltung gebracht, sie erarbeiteten sich Vorwissen im Bereich der Kunststoffe und speziell der Biokunststoffe. Außerdem ging es auch um die Frage, wie die Ergebnisse an unterschiedliche Stakeholder aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, aber auch an andere Schüler*innen kommuniziert werden können, um eine nachhaltige Implementation der Ergebnisse zu erreichen. Diesbezüglich ist z. B. eine Website mit einem Blog entstanden [1] und ein Bericht in der schuleigenen Zeitung erschienen [2]. Auch die Landeszeitung hat über das Projekt berichtet [3].

Die Kompetenzen der Schüler*innen wurden in den Bereichen Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung und Reflexion gestärkt. Die Schüler*innen entwickelten durch die Verknüpfung der Kompetenzbereiche ein realistisches Bild von Forschung für Nachhaltigkeit.

Das zweijährige Projekt wurde von der Robert Bosch Stiftung im Rahmen der Förderlinie „Our Common Future – Schüler, Lehrer, Wissenschaftler forschen für die Welt von morgen“ gefördert (Bewilligungsnummer: 32.5.F082.0030.0). Mit der Förderlinie unterstützt die Stiftung gemeinsame Projekte von Schüler*innen und Wissenschaftler*innen in Bereichen der Nachhaltigkeitsforschung (Kasten 1). Die Schüler*innen bearbeiten dabei echte Forschungsfragen der Wissenschaft und erleben so authentisches Forschendes Lernen. Sie sollen durch die Forschung auch erfahren, welche Handlungsalternativen sich durch wissenschaftliches Arbeiten auf tun. Zwei zehnte Jahrgänge des GLH konnten so am Projekt teilnehmen, wobei der zweite Durchgang mit den fachwissenschaftlichen Ergebnissen des ersten Durchgangs weiterarbeitete.

Kasten 1 Nachhaltigkeitsverständnis

Nachhaltigkeit – was ist das eigentlich?

Unter Nachhaltigkeit versteht man eine Symbiose zwischen Ökonomie, Ökologie und Sozialem, auch bekannt als die drei Säulen der Nachhaltigkeit oder als Nachhaltigkeitsdreieck. Stoltenberg und Michelsen [4] befürworten ein Nachhaltigkeitsviereck, bei dem eine kulturelle Dimension ergänzt wurde. Nachhaltigkeit wird auch als Handlungsprinzip zur Ressourcennutzung bezeichnet mit dem Ziel der Bewahrung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme (z. B. der Ökosysteme) unter Berücksichtigung intra- und intergenerationaler Gerechtigkeit [5]. Bei einer starken Nachhaltigkeit hat die ökologische Dimension immer Vorrang vor den anderen Dimensionen, so dass wirtschaftliche Aktivitäten und gesellschaftliche Entwicklungen den ökologischen Grenzen unterliegen.

Die Laborwoche an der Leuphana Universität Lüneburg

Die Laborwoche war das Kernstück des Projekts. Hier geschah die eigentliche Nachhaltigkeitsforschung. Die Schüler*innen widmeten sich zunächst ihren eigenen Vorstellungen über Forschung. Mit der Aufgabe „Draw a picture of a scientist!“ [6] und einer Abfrage über menti.com, wie Naturwissenschaftler*innen arbeiten, wurden diese Vorstellungen transparent und der Reflexion zugänglich gemacht. Besonders geübt wurde das genaue Lesen von Anleitungen und die Unterscheidung von Beobachtung und Interpretation [7]. Entlang der Schritte eines idealisierten Forschungszyklus wurde den Schüler*innen erläutert, welche Aufgaben auf sie zukommen, z. B. das Lösen von PLA oder die elektrochemische Spaltung des modifizierten Moleküls [8]. Nach einer Sicherheitsbelehrung wurden die spezifischen fachlichen Grundlagen präsentiert und die durchzuführenden Versuche vorgestellt. (Diese sind auf der Homepage www.pluslucis.org zu finden.) Es handelte sich somit um strukturiertes Forschendes Lernen auf Level 1, bei dem die Fragestellung und die Methoden vorgegeben waren, die Beobachtung und Interpretation der Ergebnisse jedoch den Schüler*innen oblag [9]. Unterstützt wurden die Schüler*innen dabei von zwei Wissenschaftler*innen sowie von zwei studentischen Hilfskräften.

Fachlicher Hintergrund und die Versuche

Der Hintergrund des Projektes beruht auf der Schwierigkeit, Biokunststoffe, welche im Gemisch mit anderen Kunststoffen im Abfallstrom vorliegen, sortenrein zu trennen und werkstofflich zu recyceln. Weiterhin muss die Bioabbaubarkeit verbessert werden, um eine Anreicherung von Biokunststoff in der Umwelt zu vermeiden. Während Letzteres einen direkten Bezug zur Umwelt hat, ist das verbesserte Recycling entscheidend für den effizienten Umgang mit Ressourcen und im Speziellen mit Kunststoffmüll. Den experimentellen Arbeiten lag folgende Fragestellung zugrunde: Wie können Biokunststoffe chemisch modifiziert werden, um das stoffliche Recycling und die Bioabbaubarkeit zu verbessern? Dabei sollte darauf geachtet werden, dass Recycling und Bioabbaubarkeit eng mit den materiellen Eigenschaften (Festigkeit, Sprödigkeit, chemische Inertheit etc.) und letztendlich Anwendbarkeit des Biokunststoffes verknüpft sind. Die chemische Modifizierung darf die materiellen Eigenschaften des Ausgangsmaterials nicht oder nur geringfügig beeinflussen.

Am Beispiel PLA (Abb. 2) wurden die chemischen Grundlagen von Kunststoffen und insbesondere Biokunststoffen erläutert sowie Lösungsansätze erarbeitet, die Recycling, Bioabbaubarkeit und Anwendbarkeit berücksichtigen. Dabei war es entscheidend, ausgehend von der Herstellung der Biokunststoffe, über das Benutzen bis hin zum Sammeln/ Entsorgen und Recyceln, die ganze Verfahrenskette im Blick zu haben und Entscheidungen auf mögliche Konsequenzen innerhalb der Kette hin zu überprüfen.

Im Projekt wurde konkret auf die Möglichkeit eingegangen, Sollbruchstellen in das PLA-Molekül (Abb. 2) einzubauen, welche spezifisch mit einfachen und etablierten Methoden spaltbar sind. Den Schüler*innen wurden chemische Bindungen vorgestellt, welche sich prinzipiell für eine Sollbruchstelle eignen. Methoden für deren Spaltung wurden mit dem Fokus auf Skalierbarkeit und tatsächliche Anwendbarkeit präsentiert.

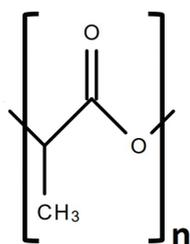


Abbildung 2: Molekülstruktur von PLA

Eine Möglichkeit, um sowohl einen werkstofflich recyclingfähigen als auch schnell abbaubaren PLA-basierten Biokunststoff zu entwickeln, hat sich zumindest theoretisch durch das Einbringen von Disulfidbrückenbindungen in das PLA Polymer ergeben. Diese Bindungen lassen sich technisch einfach elektrochemisch spalten, was zu einem werkstofflichen Recycling, und somit zu einem Aussparen der energie- und rohstoffintensiven Neupolymerisation, beiträgt. Die Bestätigung oder Widerlegung dieser Hypothese war Teil verschiedener Versuche, die im Leuphana Labor durchgeführt wurden.

Versuche:

- 1) Lösen von PLA
- 2) Einfügen der funktionellen Gruppen zur Ausbildung der Sollbruchstellen
- 3) Elektrochemische Spaltung der Sollbruchstellen
- 4) Prüfung auf Vorhandensein der Sollbruchstellen
- 5) Untersuchung auf Bioabbaubarkeit

Die von den Schüler*innen durchgeführten Untersuchungen wurden zu jeder Zeit unter wissenschaftlicher Betreuung und mit persönlicher Schutzausrüstung in Form von Laborkittel, Schutzbrille und Handschuhen realisiert. Des Weiteren fand der Großteil der Versuchsaufbauten unter dem Abzug statt. Es wurde in sechs Gruppen mit jeweils drei Mitgliedern gearbeitet. Eine genaue Beschreibung der Versuche zur erneuten Durchführung lässt sich im zugehörigen Arbeitsmaterial finden.

Für die Versuchsreihe wurde für 3D Drucker handelsübliches PLA verwendet. Dieses wurde im ersten Versuch in Aceton gelöst. Jede Gruppe bereitete zwei parallele Ansätze vor. Anschließend wurde im zweiten Versuch beiden Ansätzen 3-Mercaptopropionsäure zugegeben. Einer der Ansätze wurde darüber hinaus noch mit einer geringen Menge Schwefelsäure versetzt, um die säurekatalysierte Veresterung zu beschleunigen. Die so herbeigeführte Veresterung hatte zum Ziel, die in den Molekülen der Säure enthaltenen Thiolgruppen

als Disulfidbrückenbindungen in die PLA-Kette einzubauen. Dazu wurden beide Ansätze für eine Stunde unter Rühren in den Abzug gestellt. Anschließend wurde das veresterte PLA in ein Becherglas gegossen und zum Abdampfen des Acetons darin geschwenkt, bis am Ende eine teils durchsichtige, teils milchig weiße Folie entstand. Diese Folie wurde im nächsten Schritt mittels FTIR-Spektrometer [10] auf enthaltene funktionelle Gruppen analysiert, um zu prüfen, ob Disulfidbrückenbindungen in die PLA-Ketten eingebaut wurden.

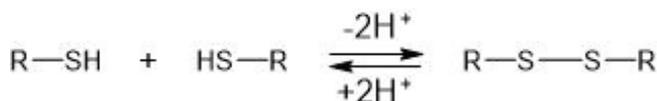


Abbildung 3: Ausbilden einer Disulfidbrückenbindung (S-S) ausgehend von Thiolgruppen (-SH). R steht für Rest.

Der dritte Versuch hatte zum Ziel, die modifizierten PLA-Ketten an den eingebauten Brückenbindungen mittels Elektrolyse zu spalten. Nach 45 Minuten Laufzeit wurde die Elektrolyse gestoppt und die PLA-Folien getrocknet, bevor sie wieder mittels FTIR analysiert wurden, diesmal um zu prüfen, ob eine Aufspaltung der Disulfidbrückenbindungen erzielt werden konnte.

Zuletzt wurde unter den standardisierten Bedingungen des BSB5 Tests (Biologischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen) die biologische Abbaubarkeit des modifizierten PLAs untersucht.

Forschungsergebnisse

Die Schüler*innen haben im Projekt Disulfidbrückenbindungen in den PLA-Ketten ausgebildet und diese erfolgreich elektrochemisch gespalten. Gebildete sowie gespaltene Disulfidbrückenbindungen wurden mittels FTIR-Spektrometer nachgewiesen. Die Schüler*innen haben weiterhin die Reaktionsschritte verbessert, um einen modifizierten Biokunststoff zu erhalten, der ähnliche materielle Eigenschaften wie das Ausgangsmaterial PLA besitzt. Allerdings haben sich die sensorischen Eigenschaften und insbesondere der Geruch verschlechtert. Dies war aber durch das Vorhandensein von freien Thiolgruppen zu erwarten.

Wie in der Forschung üblich, wurden während des Forschenden Lernens neue Fragen generiert, die in weiterführenden Untersuchungen beantwortet werden müssen. Es konnte zum Beispiel noch nicht gezeigt werden, wie viele Sollbruchstellen ausgebildet wurden und wie die Anzahl an Sollbruchstellen kontrolliert werden kann. Weiterhin ist es noch nicht gelungen, die Sollbruchstellen nach elektrochemischer Spaltung im Material neu zu bilden. Dafür ist momentan immer ein Lösen in Aceton nötig, was jedoch einer Anwendbarkeit im großen Maßstab entgegensteht. Eine schnelle Bioabbaubarkeit konnte mit modifiziertem PLA noch nicht gezeigt werden.

Präsentation auf Kongressen

Die Ergebnisse des Projekts wurden auf mehreren Kongressen präsentiert. Der erste Schülerkongress fand am Gymnasium Lüneburger Heide statt und stellte auch die Übergabe der Projektergebnisse des ersten 10. Jahrganges an den darauffolgenden dar. Bei der Podiumsdiskussion – es waren Vertreter*innen aus Wirtschaft und Wissenschaft angereist – ging es darum, inwiefern auf Kunststoffe verzichtet werden kann bzw. welche Alternativen zur Verfügung stehen. Die Schüler*innen präsentierten die Ergebnisse der Laborarbeit und der Arbeit in den verschiedenen Unterrichtsfächern auf Postern in einer Ausstellung. Arbeitstitel waren beispielsweise „Biokunststoffe als Alternative“, „Mikroplastik und Biokunststoffe“, „Biokunststoffe auf europäischer Ebene“ und „Ökologische Folgen von Biokunststoffen in der Nahrungskette“. Interaktive Programmpunkte waren ein Kahoot Quiz zu Biokunststoffen und „Mitmachversuche“.

Zum Ende des zweiten Projektjahres stellten die Schüler*innen die Projektergebnisse auf einem weiteren Schülerkongress an der Leuphana Universität Lüneburg vor. Schüler*innen diskutierten mit einer Landtagsabgeordneten zum Thema Biokunststoffe. Drei Wissenschaftler*innen des Kieler Ozean Labors der Christian-Albrechts-Universität Kiel sprachen über ihre Forschungsergebnisse und zeigten in der Ausstellung verschiedene Versuche.

Der Kongress der Robert Bosch Stiftung bildete den Projektabschluss. Vertreter*innen aller am Projekt „our common future“ teilnehmenden Gruppen trafen sich in Stuttgart, um ihre Projekte in einer Ausstellung vorzustellen und sich untereinander auszutauschen. Teil des Rahmenprogrammes war ein Planspiel zum Thema „Feinstaubbelastung in Stuttgart“, bei denen die Teilnehmenden verschiedene – auch fremde – Positionen einnahmen und diese in Diskussionen verteidigten.

Evaluation des Projekts

In einem begleitenden Fragebogen wurden die teilnehmenden Schüler*innen vor und nach dem Projekt über ihre Einstellung und ihr Verständnis zu Nachhaltigkeit bzw. Nachhaltigkeitsforschung befragt. Ausgewählte Ergebnisse offener Items zeigen, dass etwa zwei Drittel der Jugendlichen eine anthropozentrische Sichtweise auf Nachhaltigkeit einnehmen, ca. ein Drittel eine biozentrische Sichtweise, bei der der Schutz der Umwelt, ohne auf den eigenen Vorteil zu achten, besonders im Vordergrund steht. Für die meisten Schüler*innen steht ein sparsamer Umgang mit Ressourcen im Vordergrund, so dass die derzeit lebenden Menschen oder zukünftige Generationen „problemlos auf der Erde leben können“ (Schüler*in 29SU, pre). „Mit Nachhaltigkeit verbinde ich zB den Gebrauch von Ressourcen der unsere Umwelt nicht einschränkt/verletzt, dh ein schlauer Umgang, der die Ressource nicht ausbeutet und ‚regenerieren‘ lässt“ (Schüler*in 11MP, post). Dieses Verständnis könnte der Fokussierung des Projekts auf Biokunststoffe und damit auf Ressourcen

geschuldet sein. Insgesamt zeigt sich, dass die Schüler*innen nach dem Projekt ein differenzierteres, aber auch kritischeres Bild von Nachhaltigkeit haben. So schätzt sich der erste Jahrgang nach dem Projekt als weniger umweltbewusst ein als vor der Teilnahme.

Zum Verständnis des Begriffs „Forschung“ wurden im Prä- und Postfragebogen besonders die folgenden Antworthäufigkeiten genannt: Mit insgesamt 37 % bedeutet Forschung für die Schüler*innen Neues zu entdecken, nach einer bestimmten Vorgehensweise Erkenntnisse zu gewinnen (28 %) sowie Fortschritt und (Weiter)Entwicklung (22 %). Dabei erhöhte sich vor allem der letzte Punkt durch das Projekt.

Insgesamt gibt es zu der Frage, welchen wichtigen Problematiken sich unser Land gegenüber sieht, hohe Antworthäufigkeiten der Schüler*innen zum Bereich Klimawandel und Bereitstellung elektrischer Energie aus fossilen Energieträgern mit 57 % sowie der Umweltzerstörung und fehlender Nachhaltigkeit mit 36 %. Besonders schwankend sind die Antworten zur Kategorie der Politik, die insgesamt 22 % der Gesamthäufigkeit zu dieser Fragestellung ausmachen. Hier können neben der Aufklärung über den Anteil von politischen Regulierungen bzgl. der Biokunststoffthematik ebenfalls aktuelle Geschehnisse der Weltpolitik eine Rolle gespielt haben. So wurde beispielsweise im ersten Jahr des Projekts die Flüchtlingskrise mit insgesamt 16 % aufgeführt, welche von den Schüler*innen im zweiten Jahr nicht erwähnt wurde.

Die Einstellung der Lernenden zu den Nachhaltigkeitswissenschaften ist insofern interessant, als sich die meisten erst durch das Projekt damit befassen zu haben scheinen. Viele Schüler*innen stellen sich zur Arbeit von Wissenschaftler*innen in diesem Bereich bestimmte Vorgehensweisen vor, wie bspw. ein Entwickeln von Technologien, Methoden sowie Ideen, Forschen, Beobachten und Messen, Stellen von Prognosen oder auch das Vermitteln und Beraten. Diese Vorstellungen wurden durch das Projekt weiterentwickelt und konkretisiert, wie folgendes Beispiel zeigt: „... mit welchen Methoden aktuelle Nachhaltigkeits- und Umweltprobleme gelöst werden können“ (FB2-post). Ebenfalls hatten die Schüler*innen jeweils zu Beginn des Projekts nur wenige Ideen darüber, wie Nachhaltigkeitswissenschaftler*innen darüber entscheiden, was und wie sie etwas untersuchen. Hier zeigte sich insofern eine Veränderung, als auch diese Vorstellungen durch das Projekt konkretisiert wurden. Die meisten Lernenden sehen hier vor allem Faktoren wie bspw. die Politik bzw. den Staat, wirtschaftliche Gründe (u. a. Geld) sowie die Aktualität, Popularität, Dringlichkeit und Relevanz der jeweiligen Problematik, die die Wissenschaftler*innen bei ihren Entscheidungen beeinflussen.

Fazit und Ausblick

Die Schüler*innen haben chemische Grundlagen zu (Bio-) Kunststoffen gelernt und sie wissen, welche Rohmaterialien

eingesetzt werden können, um alternative Kunststoffe herzustellen. Sie sind sich der Verbindung von gesellschaftlichen bzw. politischen Prozessen und der Verwendung sowie Förderung bestimmter Materialien bewusst und kennen die kritische Sicht auf Biokunststoffe. Die Schüler*innen haben darüber hinaus Untersuchungen im Labor durchgeführt und dabei insbesondere experimentelle, aber auch sozialwissenschaftliche Methoden der Nachhaltigkeitsforschung angewandt. Durch kritische und explizite Reflexion des Projekts konnten sie ein realistischeres Verständnis von (Nachhaltigkeits-)Wissenschaft entwickeln. Sie haben ihr Vorgehen unter soziokulturellen, ökonomischen und ökologischen Aspekten der nachhaltigen Entwicklung bewertet und einer größeren Öffentlichkeit die vielfältigen Ergebnisse kommuniziert und präsentiert. Dabei hat es sich jedoch als besonders schwierig erwiesen, Stakeholder zu gewinnen, die mit den Schüler*innen über die Ergebnisse diskutieren. Eine intensive Kommunikation der Ergebnisse an vor allem regionale Stakeholder aus Politik, Abfallmanagement und Wirtschaft, wie im Projekt angedacht, war daher leider nur bedingt bzw. mit wenigen Personen möglich.

Die Zusammenarbeit zwischen Schule und Universität hat sich als fruchtbar erwiesen. Alle Beteiligten konnten von den

Erfahrungen profitieren und nutzen diese in einer Fortführung der Zusammenarbeit im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt geförderten Projekts „FoodLabHome“ zu der Erfassung von Lebensmittelabfällen in Haushalten.

Danksagung

Wir danken der Robert Bosch Stiftung, die im Rahmen der Förderlinie „Our Common Future – Schüler, Lehrer, Wissenschaftler forschen für die Welt von morgen“ das Projekt über zwei Jahre gefördert hat (16.10.2017-15.10.2019, Bewilligungsnummer: 32.5.F082.0030.0).

Simone Abels *Leuphana Universität Lüneburg,*

Professur für Didaktik der Naturwissenschaften

Luca Girod *Schüler des Gymnasiums Lüneburger Heide*

Ronja Hallerbach *Studentin der Leuphana Universität Lüneburg*

Daniel Pleissner *Leuphana Universität Lüneburg,*

APL-Professur für Nachhaltige Chemie mit

dem Schwerpunkt Ressourceneffizienz

Antje Reichelt *Schulleiterin des Gymnasiums Lüneburger Heide*

Catharina Struck *Studentin der Leuphana Universität Lüneburg*

Literatur

- [1] <https://www.biokum.com/> (Zugriff am 16.04.2020)
- [2] <https://www.biokum.com/presse/> (Zugriff am 16.04.2020)
- [3] <https://www.landeszeitung.de/blog/lokales/1497512-sind-biokunststoffe-umweltfreundlich> (Zugriff am 16.04.2020)
- [4] Stoltenberg, U. und G. Michelsen, Lernen nach der Agenda 21: Überlegungen zu einem Bildungskonzept für eine nachhaltige Entwicklung, in NNA-Ber. 1999. 12 (1): p. 45–54.
- [5] WCED, Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. 1987. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (02.01.2020)
- [6] Chambers, D. W., Stereotypic images of the scientist: The draw-a-scientist test. in Science Education. 1983. 67(2): p. 255–265.
- [7] McComas, W. F., The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies. 1998, Kluwer Acad. Publ.: Dordrecht u. a.
- [8] Abels, S., G. Lautner, und A. Lembens, Mit „Mysteries“ zu Forschendem Lernen im Chemieunterricht. in Chemie & Schule. 2014. 29(3): p. 20–21.
- [9] Blanchard, M. R., S. A. Southerland, J. W. Osborne, V. D. Sampson, L. A. Annetta, und E. M. Granger, Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. in Science Education. 2010. 94(4): p. 577–616.
- [10] FTIR-Spektrometer (Fourier-Transform-Infrarotspektrometer): Analyseverfahren zur Identifizierung von funktionellen Gruppen durch Anregung von Molekülen mit infraroter Strahlung und Messung charakteristischer Schwingungsanregungen

Mit dem Smartphone chemische Phänomene in der Natur entdecken und verstehenlernen

Ein möglicher Baustein auf dem Weg zu einer gelingenden Umweltbildung

Philipp Spitzer und Anja Lembens

Naturgenuss mit dem Smartphone in der Hand? Und dann auch noch die Chemie in der Natur verstehenlernen? Die Überschrift mag für viele Leser*innen zwei große Gegensätze beinhalten. Schließlich geht man in die Natur, um vom Alltag abzuschalten oder sich an Pflanzen und Tieren zu erfreuen, die einem umgeben. Vielleicht möchte man auch einfach die Stille und die unberührte Landschaft genießen. Ein Smartphone, noch dazu ständig griffbereit, scheint da doch eher kontraproduktiv zu sein. Die Debatte ist nicht neu und wurde bereits im Kontext des Geocachings, also durch GPS-Geräte geleitete Abenteuer in der Natur, geführt. Forkel-Schubert hat ihren Standpunkt zum Einsatz digitaler Hilfen im Bereich des Naturerlebens schon im Titel ihrer Publikation „GPS in der Umweltbildung: Geocaching frisst Naturerleben“ [1] sehr deutlich gemacht. Studien zeigen allerdings auch einen Vorteil für das Erleben der Natur [2]. So kann der Einsatz digitaler Medien ebenso Anstoß und Anlass für eine nähere Auseinandersetzung mit Natur sein. Und der zweite scheinbare Gegensatz: Chemie in der Natur? Für viele Menschen hat Chemie wenig mit Natur gemeinsam [3,4]. Sie kaufen „biologische“ Seife und gehen davon aus, dass ein naturnahes Leben ohne Chemie möglich ist. Das Chem-Tracking-Projekt möchte die vermeintlichen Gegensätze aufgreifen und einen Beitrag dazu leisten, naturwissenschaftliche Phänomene in der Natur ins Bewusstsein zu heben und versteh- und reflektierbar zu machen.

Natur, Chemie und Mensch

Wir möchten hier zunächst kurz die Bedeutung der drei Begriffe Natur, Chemie und Mensch für den Kontext dieses Artikels klären. Der **Naturbegriff** bezeichnet in seiner alltagsprachlichen Verwendung Etwas, das nicht vom Menschen geschaffen wurde und ist in der heutigen Zeit meist positiv konnotiert. Dabei wird oft nicht wahrgenommen, dass vieles, was wir in unserer Umwelt als Natur bezeichnen, sehr stark durch menschlichen Einfluss geprägt ist. **Chemie** dagegen wird meist mit Künstlichem oder Gefährlichem assoziiert und ist im Gegensatz zu Natur eher negativ konnotiert. Dies zeigen unter anderem Befragungen von Schüler*innen [4,5]. Der **Mensch** als soziales und kulturelles Wesen kann einerseits als Teil von Natur wahrgenommen werden, andererseits beeinflusst er Natur maßgeblich. Die Menschheit hat sich im Laufe der Jahrhunderte ein umfangreiches naturwissenschaftliches Wissen angeeignet und ist damit in der Lage, Natur zu verstehen, zu nutzen und zu verändern. Damit kommt der Menschheit

eine große Verantwortung für Natur, also für unseren Planeten mitsamt seinen fragilen Lebensräumen und Lebewesen zu.

Ergebnisse einer international durchgeführten Befragung von 822 Schüler*innen zeigen deutliche Unterschiede in der Wahrnehmung der Konzepte Chemie, Mensch und Natur (Abbildung 1).

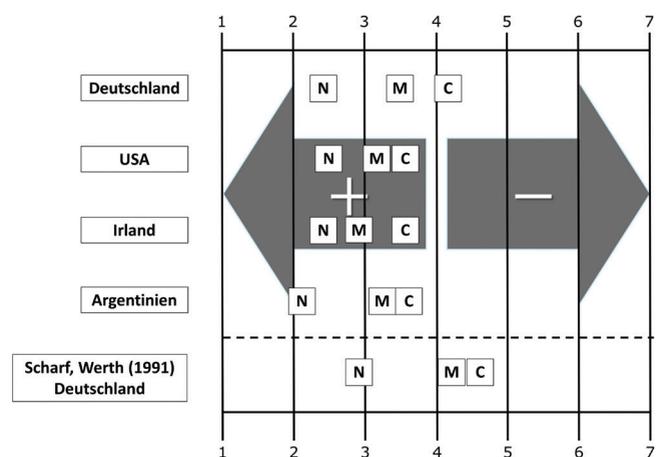


Abbildung 1: Verhältnis von Chemie (C), Mensch (M) und Natur (N) im internationalen Vergleich. Messung mit 7-stufigem Osgoodschen Differential [3]

In allen Ländern wird das Konzept Natur deutlich positiver wahrgenommen als das Konzept Chemie. In Deutschland wird Chemie am negativsten bewertet. Im Gegensatz zur ebenfalls dargestellten Untersuchung von Scharf und Werth werden alle drei Konzepte in der Untersuchung von 2013 positiver bewertet. Schüler*innen verbinden Chemie nicht mit natürlichen Prozessen, sondern sehen die Disziplin eher stereotyp: das Bild von Chemie ist im Wesentlichen von technischen Anwendungen geprägt [6]. Dabei ist die Natur voller chemischer Prozesse. Auf eine sehr ansprechende Weise verdeutlicht dies James Kennedy in seinen Internetblog [7]. Er erstellt Listen mit Inhaltsstoffen, die natürlicherweise in Lebensmitteln wie Heidelbeeren, Eiern, Bananen oder Kaffee vorkommen und stellt diese grafisch ansprechend aufbereitet zur Verfügung.

Dass unser Planet samt aller Lebensräume und Lebewesen durch chemische Prozesse entstanden und diesen fortlaufend im Werden und Vergehen unterworfen ist, wird von den wenigsten Menschen wahrgenommen. Viele chemische Prozesse in unserem Alltag werden uns gar nicht bewusst. Das

Schwierige am Verstehen und Einordnen chemischer Prozesse ist, dass die Ursachen für die wahrnehmbaren Phänomene nicht direkt sichtbar sind. Wer Chemie verstehen und anwenden möchte, muss sich in zwei vollkommen verschiedenen Welten bewegen. Zunächst ist da die makroskopische Ebene dessen, was wir wahrnehmen (sehen, riechen, fühlen) können. Um die Ursachen dieser Phänomene verstehen zu können, müssen wir uns auf eine Ebene begeben, die der direkten Beobachtung nicht mehr zugänglich ist – die Welt der Atome, Moleküle und ihrer Wechselwirkungen. Um aus Messergebnissen gewonnene Erkenntnisse über diese submikroskopische Welt kommunizieren und reflektieren zu können, verwenden wir Formeln, Modelle und eine disziplinspezifische Fachsprache. Der Anspruch an einen wirksamen Chemieunterricht besteht also darin, zwischen der Welt des Wahrnehmbaren und der submikroskopischen Welt zu vermitteln sowie das erworbene chemische Wissen zu nutzen, um informierte Entscheidungen zu treffen und verantwortungsvoll zu handeln. Der Wechsel zwischen der makroskopischen, submikroskopischen und symbolischen Ebene wird jedoch als große Herausforderung für Lehrende und Lernende gesehen [8–12].

Das GPS-gestützte Lehrpfadprojekt Chem-Tracking kann dazu beitragen, die skizzierten Herausforderungen zu bearbeiten, indem es Schüler*innen und interessierten Passant*innen ermöglicht, Einblicke in die spannende Chemie des Waldes zu gewinnen [13,14].

Outdoor Learning, um Chemie zu lernen

Chem-Tracking ist ein Beispiel für mobiles, ortsbezogenes Lernen im Chemieunterricht, wobei ein Großteil des Lernens außerhalb des Klassenraums stattfindet. Eine Verlagerung des Unterrichts nach draußen findet in den letzten Jahren immer mehr Beachtung [15]. So können Unterrichtseinheiten in der Natur bzw. in naturnaher Umgebung dazu beitragen, den Fachunterricht lebendiger zu machen und den Kontextbezug zu stärken [16]. Lai und Kolleg*innen deuten neben einer höheren Motivation für die so vermittelten fachlichen Inhalte auch einen größeren Wissenszuwachs bei den Schüler*innen an [17]. Auch die Hattie-Studie bescheinigt dem Outdoor-Learning einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs [18]. Beim Outdoor Learning werden jedoch nicht nur reine Fachinhalte vermittelt. Vielmehr sind solche orts- und regionalbezogenen Projekte [19] zum Kennen- und Verstehenlernen der eigenen Lebensumwelt geeignet. Sobel geht davon aus, dass Projekte im Bereich des Outdoor-Learnings auch immer einen gesellschaftlichen Bezug haben [20]. So gehört für ihn zum Outdoor-Learning ein Lernergebnis dazu, das auch für die Gesellschaft einen Mehrwert hat, wie zum Beispiel im biologischen Kontext die Renaturierung eines Baches als Unterrichtsprojekt. In skandinavischen Ländern bildet Lernen in der Natur einen wichtigen Bestandteil des Unterrichts. In der „Udeskole“, der Draußenschule, lernen die Kinder sich in der Natur zu bewegen, diese zu entdecken und zu achten und erwerben so ein Naturverständnis [21–23]. Dieses Naturerleben trägt nach

Trommer [24] auch erheblich zu einer in der heutigen Zeit immer wichtiger werdenden Umweltbildung bei. Gerade in dieser findet Geocaching schon jetzt verstärkt Berücksichtigung [25,26]. Einige Autor*innen sehen eine Verbindung von Umweltbildung und dem Einsatz moderner Medien wie Smartphones und GPS-Geräten kritisch. Ergebnisse einer Studie mit Geocacher*innen deuten jedoch darauf hin, dass eine solche Kombination sehr wohl das Interesse an der Natur steigern kann [2].

Chemische Phänomene vor Ort entdecken, verstehen und reflektieren

Anders als im Bereich der Biologie gibt es im chemischen Bereich bisher wenige Beispiele für die Verlagerung des Unterrichts nach draußen. Populär wurde die Idee im Kontext der Chemie erstmals mit Borrow's chemischem Lehrpfad. Er erstellte 1984 einen ersten Lehrpfad zur Chemie im Alltag, den „Pimlico Chemistry Trail“ [27–29]. Beim „Pimlico Chemistry Trail“ handelte es sich um einen klassischen Lehrpfad mit Schautafeln und eher geringer Interaktivität. Im Gegensatz dazu wurde im eigenen, im Folgenden beschriebenen Projekt Chem-Tracking (www.chem-tracking.de) auf stationäre Lehr- und Schautafeln verzichtet und stattdessen Quick-Response-Codes (QR-Codes) verwendet, mit deren Hilfe Informationen von einer Webseite abgerufen werden können (Abbildung 1).



Abbildung 2: Beispiel für eine Station mit QR-Code [12]

Der im Folgenden skizzierte Track ist als Rundweg konzipiert, hat eine Länge von 1,6 Kilometern (Abbildung 3) und soll Schüler*innen ab der achten Klasse, Familien und Wandernde ansprechen.

Die QR-Codes der jahreszeitlich unabhängigen Stationen (zum Beispiel zu den Themen *Baumrinde* und *Holz Kohle*) sind auf feststehenden Holzpfählen angebracht. Ergänzt werden diese Stationen durch variable Stationen, etwa zu dem Thema

Waldmeister, die jahreszeitliche Besonderheiten thematisieren. Informationen, Arbeitsaufträge und Hilfestellungen stehen ortsspezifisch und jederzeit abrufbar zur Verfügung. Auf diese Weise kann es gelingen, chemiebezogene Phänomene wahrzunehmen, in Kontexte einzuordnen und dahinterliegende Prozesse auf der submikroskopischen Ebene nachzuvollziehen.

Die behandelten Themen können so auf verschiedenste Weise in individuellem Tempo und mit unterschiedlicher Tiefe erarbeitet werden. Die Webseiten stellen dabei ein Angebot an Informationen zur Verfügung. So finden sich auf der Webseite zur Station *Brennnessel* u. a. Informationen zu chemischen Eigenschaften der in den Brennhaaren enthaltenen Ameisensäure, der Nutzung der Brennnessel als Lebensmittel und Nutzpflanze sowie ihr Status als Zeigerpflanze für Stickstoff im Boden. Darüber hinaus wird auch ein Bezug zu aktueller Forschung zu Ameisensäure als möglicher Wasserstoffspeicher für Brennstoffzellen [30] hergestellt.

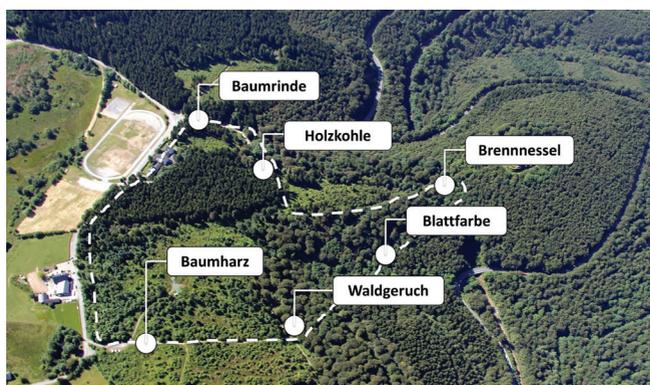


Abbildung 3: Streckenverlauf des Chem-Tracking-Projekts. Eingezeichnet sind die fest installierten Stationen [13].

Zusätzlich zu den in digitaler Form angebotenen Informationen und Aufgaben können im Wald an Ort und Stelle kleine gefahrlose Versuche durchgeführt werden. Für Schulklassen besteht darüber hinaus die Möglichkeit, fünf mit Experimentiermaterial und GPS-Gerät ausgestattete Rucksäcke bei der Chemedidaktik der Universität Siegen auszuleihen (siehe Abbildung 4), um ausgewählte Aspekte des Lehrpfades direkt vor Ort zu vertiefen. Alle anfallenden Abfälle werden in speziellen Behältern im Rucksack gesammelt und fachgerecht entsorgt. Damit das Erreichen zentraler Lehrziele sichergestellt werden kann, sind in diesem Geocache Aufgaben integriert. Die Informationen zum Finden der nächsten Station wird nur freigegeben, wenn die Aufgabe der jeweils aktuellen Station richtig gelöst wurde.

Chem-Tracking als Startpunkt für Reflexionsprozesse

Ein solcher Pfad bietet vielfältige Anknüpfungspunkte für die Einbettung in den weiteren Unterricht. Ziele einer angemessenen chemischen Grundbildung sind das Verstehen chemischer Prozesse und deren Einordnung in übergeordnete Konzepte. Durch Einbettung in größere Kontexte können



Abbildung 4: Ausstattung eines verleihbaren Experimenterrucksacks

darüber hinaus Kompetenzen entwickelt werden, die notwendig sind, um den Einfluss des eigenen chemiebezogenen Handelns auf unsere Umwelt kritisch zu reflektieren und verantwortungsbewusst handeln zu können. So könnten z. B. anhand von Brennnesselbeständen stickstoffreiche Böden ausfindig gemacht und dann Boden und Wasser unter Zuhilfenahme entsprechender Analysesets untersucht werden. Es könnten vertiefende Einheiten zum Stickstoffkreislauf, zum Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft und zum Schutz der heimischen Gewässer vor Nitratverunreinigungen mit Blick auf die Nitratrichtlinie der EU angeschlossen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten mit regionalen Vertreter*innen aus der Landwirtschaft, der Wasserwirtschaft, von Umwelt- und Verbraucher*innenverbänden diskutiert werden. Oder der Chem-Track wird um weitere Stationen ergänzt, in denen die Schüler*innen ihr erlangtes Wissen an andere weitergeben können. Insbesondere bei einer digitalen Umsetzung des Pfades ist dies mit wenig Aufwand und kostengünstig möglich. Eine solche Kontexteinbettung ist auch im Sinne der oben beschriebenen Place Based-Education, die Aktivitäten beinhaltet, die das neu erlangte und zusammengetragene Wissen für andere (die „Community“) sichtbar machen. Unterricht stellt hier also auch immer ein Lernen über und für die Gesellschaft dar. In jedem Falle sollte der Reflexion der eigenen Handlungsoptionen und deren Bedeutung für einen nachhaltigeren Umgang mit den Ressourcen dieser Erde ein prominenter Platz in der Aufarbeitung und Vertiefung der Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Chem-Tracking eingeräumt werden. Auf diese Weise kann auch eine Reflexion

der eigenen Handlungsoptionen und deren Bedeutung für einen nachhaltigeren Umgang mit den Ressourcen dieser Erde angebahnt werden.

Eine kurze Anleitung für eine eigene Umsetzung eines solchen Pfades sowie mögliche Alternativen findet sich auch in [14].

Philipp Spitzer *Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie) Universität Graz, Didaktik der Chemie*
Anja Lembens *Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie)*

Literatur

- [1] Forkel-Schubert, J., GPS in der Umweltbildung. Geocaching frisst Naturerleben. 2010. <http://www.umweltbildung.de/5831.html> (letzter Zugriff am 8.10.2013).
- [2] Vogl, R. und C. Dachs, Geocaching in der Umweltbildung. Ergebnisse einer quantitativen Studie. in *Umwelt & Bildung*. 2011. 2: p. 13–15.
- [3] Krischer, D., P. Spitzer, und M. Gröger, Chemistry is Toxic, Nature is Idyllic - Investigation of Pupils' Attitudes. in *The Journal of Health, Environment & Education*. 2016. 8: p. 7–13.
- [4] Scharf, V. und S. Werth, Studien zum komplexen Beziehungsgefüge „Mensch“ - „Chemie“ - „Natur“: „Chemie“ und „Natur“ ein Antagonismus auch für Chemiestudenten? in *Chimica Didactica*. 1991. 17(1): p. 68–82.
- [5] Gröger, M., D. Krischer, und P. Spitzer, Chemie? Draußen! Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie. 2014. 25(144): p. 2–7.
- [6] Barke, H.-D. und C. Hilbing, Image von Chemie und Chemieunterricht. in *Chemie in unserer Zeit*. 2000. 34(1): p. 17–23.
- [7] <https://jameskennedymonash.wordpress.com/2013/12/20/ingredients-of-all-natural-blueberries/>
- [8] Buck, P., M. Rehm, und T. Seilnacht, *Der Sprung zu den Atomen*. 2004, Seilnacht: Bern.
- [9] Johnstone, A. H., Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. in *Journal of Computer Assisted Learning*. 1991. 7(2): p. 75–83.
- [10] Johnstone, A. H., TEACHING OF CHEMISTRY - LOGICAL OR PSYCHOLOGICAL? in *Chemistry Education Research and Practice*. 2000. 1(1): p. 9–15.
- [11] Rehm, M., *Wirksamer Chemieunterricht*. 2018, Schneider Verlag Hohengehren GmbH: Baltmannsweiler.
- [12] Taber, K. S., Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. in *Chemistry Education Research and Practice*. 2013. 14(2): p. 156–168.
- [13] Spitzer, P. und M. Gröger, Chemistry to go! in *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*. 2014. 25(104): p. 43–47.
- [14] Spitzer, P. und A. Lembens, Mit dem Smartphone draußen Chemie entdecken. in *Chemie & Schule*. 2017. 32(4): p. 20–23.
- [15] Rickinson, M., A review of research on outdoor learning. 2004. (letzter Zugriff am 18.2.2013).
- [16] Moffett, P. V., Outdoor mathematics trails: an evaluation of one training partnership. in *Education 3-13*. 2010. 39(3): p. 277–287.
- [17] Lai, C.-H., J.-C. Yang, F.-C. Chen, C.-W. Ho, und T.-W. Chan, Affordances of mobile technologies for experiential learning: the interplay of technology and pedagogical practices. in *Journal of Computer Assisted Learning*. 2007. 23(4): p. 326–337.
- [18] Hattie, J., *Visible learning*. 2009, Routledge / Taylor et Francis: London [u. a.].
- [19] Fägerstam, E., *Space and Place*. 2012, Department of Behavioural Sciences and Learning, Linköping University, Linköping.
- [20] Sobel, D., *Place-based education*. 2005, MA: Orion Society: Great Barrington.
- [21] Bentsen, P., E. Mygind, und T. B. Randrup, Towards an understanding of udeskole: education outside the classroom in a Danish context. in *Education 3-13*. 2009. 37(1): p. 29–44.
- [22] Witte, M. D. und R. Gräfe, Die skandinavische „Draußenschule“. Schulbildung jenseits des Klassenzimmers. in *Erleben und lernen*. 2010. 4: p. 20–23.
- [23] Witte, M. D. und R. Gräfe, Schule unter freiem Himmel. Die norwegische Uteskole als Lern- und Bildungskonzept. in *Zeitschrift für Motopädagogik und Mototherapie*. 2010. 33(3): p. 122–127.
- [24] Trommer, G., Draussen Naturerleben - historische Beispiele. in *Unterricht Biologie*. 1988. 12(137): p. 8–12.
- [25] Blaschke, S., Geocaching in der Waldpädagogik. Moderne Freizeitpädagogik öffnet Jugendlichen und Erwachsenen das Tor zum Wald. in *LWF aktuell*. 2010. 75: p. 24–26.
- [26] Lude, A., S. Schaal, M. Bullinger, und S. Bleck, Mobiles, ortsbezogenes Lernen in der Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung. 2013, Schneider Hohengehren: Baltmannsweiler.
- [27] Borrows, P., The Pimlico Chemistry Trail. in *School Science Review*. 1984: p. 221–233.
- [28] Borrows, P., Chemistry trails. in *Learning science outside the classroom*, M. Braund und M. J. Reiss, Editors. 2004, RoutledgeFalmer: London. p. 151–168.
- [29] Borrows, P., Chemistry outdoors. in *School Science Review*. 2006. 87: p. 23–31.
- [30] Loges, B., A. Boddien, H. Junge, und M. Beller, Kontrollierte Wasserstofferzeugung aus Ameisensäure-Amin-Addukten bei Raumtemperatur und direkte Nutzung in H₂/O₂-Brennstoffzellen. in *Angewandte Chemie*. 2008. 120(21): p. 4026–4029.

Den Spirit von Fridays For Future in den Klassenraum bringen? oder: Wie man Nachhaltigkeit lebensnah im Physik-Unterricht umsetzen kann



Roswitha Avalos Ortiz

1. Nachhaltigkeit – was ist das?

Das Prinzip der Nachhaltigkeit per se ist nichts Neues. Der heutige Begriff der Nachhaltigkeit wurde bereits 1987 geprägt – im sogenannten Brundtland-Bericht der *United Nations* [1] ist beschrieben, dass Nachhaltige Entwicklung (neben den ökologischen) auch ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigen soll. Weiters wurde damals festgehalten, dass nachhaltige Lösungen sich ebenfalls an globaler und intergenerationaler Gerechtigkeit orientieren müssen. (Politisches und/oder einzelnes Handeln kann auch weitreichende (Langzeit-)Folgen haben, die nicht auf Kosten der nachfolgenden Generation(en) oder anderer Regionen gehen dürfen.) Auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahr 1992 wurde dieses Konzept der Nachhaltigkeit weiterentwickelt und expliziert, woraus sich in weiterer Folge die sogenannten *drei Säulen der Nachhaltigkeit* – Ökologie / Ökonomie / Soziales – herauskristallisierten. Diese drei Säulen bewusst miteinzubeziehen, kann dabei helfen, dass unsere Handlungen und Entscheidungen nachhaltiger ausfallen.

Was bedeutet dies nun für unseren Alltag? Was müsste jede*r von uns berücksichtigen, wenn man der Idee der Nachhaltigkeit Rechnung tragen will?

Für nachhaltiges Handeln wird es nicht ausreichen, wenn ausschließlich der *ökologische* Aspekt optimiert wird, und man z. B. darauf achtet, den Wasserverbrauch gering zu halten. Vielmehr müssen auch *ökonomische* Aspekte (Kosten) sowie *soziale* Überlegungen, wie etwa, ob eine Maßnahme auch gesellschaftlich sinnvoll und für die Nutzer*innen praktikabel ist, einbezogen werden. Obwohl die Auseinandersetzung mit und die Umsetzung von solch nachhaltigen Lösungen für die Gesellschaft schon seit langem von größter Wichtigkeit sein sollte, ist dieses Bewusstsein bei vielen Beteiligten noch lange nicht vorhanden – sei es in Politik und Wirtschaft oder aber auch bei uns, den einzelnen Mitgliedern der Gesellschaft.

Spätestens im Laufe des letzten Jahres hat sich jedoch einiges in der Wahrnehmung der Problematik geändert: zum einen hat sich die Dringlichkeit der Probleme, die sich unweigerlich aus dem Klimawandel ergeben (werden), etwas mehr in den Fokus der Berichterstattung verschoben – detaillierte Informationen dazu finden sich auch im Sonder-Bericht des IPCC [2]. Von den unterschiedlichen Medien wurden

sowohl die Folgen des Klimawandels an sich thematisiert, wie etwa Erderwärmung, Meeresspiegelanstieg etc., als auch das stärker werdende Bewusstsein sichtbar gemacht, welches sich insbesondere in den internationalen Protesten der Jugendlichen zeigte. Zum anderen wurde in der jüngsten Zeit, allen Internet-Trollen und Verschwörungstheoretikern zum Trotz, deutlich darauf hingewiesen, dass die Datenlage in Bezug auf den anthropogenen Klimawandel eindeutig ist und dass diesbezüglich definitiv Einigkeit in der wissenschaftlichen Community herrscht – vgl. z. B. [3].

2. Nachhaltigkeit lehren?

Wie aber lässt sich der Schwung, den das Thema durch die *Fridays For Future* Proteste bekommen hat, für ein Handeln im Sinne einer nachhaltigen Zukunft produktiv nutzen? Wie können wir, als Lehrer*innen, dieses aufkeimende Interesse der Jugend, die langsam zu erahnen beginnt, dass sie dieses Thema *wirklich* betrifft, aufgreifen? Wie gelangen wir, ausgehend vom Wissen, dass Klimawandel, im aktuellen Ausmaß, von menschlichem Handeln herrührt, und dass seine Reduktion daher auch durch menschliche Taten erfolgen muss, zu unserem Ziel: Wie können wir junge Menschen dazu befähigen, die Zusammenhänge zwischen Naturwissenschaft und ihrem Leben zu erkennen und zu wissen, welchen Einfluss sie nehmen können, um mündig ihr Leben und die Gesellschaft mitzugestalten? Wie können wir diese Energie der Jugend von der Straße mit in unsere Klassenzimmer bringen? Wie können wir die Dringlichkeit der Thematik gebührend im Unterricht adressieren?

Logischerweise gibt es dafür keine Patentlösung. Etlliches an Material zu diesem Thema wurde z. B. von den *Teachers for Future* auf ihrer Webpage gesammelt [4]. Eine weitere Möglichkeit möchte ich Ihnen in diesem Artikel vorstellen: BLUKONE - eine Lernumgebung zu nachhaltigem Energiemanagement.

Nachhaltigkeit im Lehrplan

Für den Unterricht ist es zunächst wichtig zu wissen, wie Unterricht zu Nachhaltigkeit lehrplanmäßig verankert ist und wie er zum Bildungsziel der Schule beiträgt: Explizit erwähnt wird der Begriff Nachhaltigkeit (im Sinne der oben genannten Definitionen) in den Lehrplänen der Sekundarstufe der allgemeinbildenden Schulen [5] im Bildungsbereich

Mensch und Gesellschaft: „Die Vorbereitung auf das private und öffentliche Leben (insbesondere die Arbeits- und Berufswelt) hat sich [...] an ökologischer Nachhaltigkeit zu orientieren“. Weiters wird Nachhaltigkeit, in den Fächern *Biologie und Umweltkunde, Chemie, Geografie und Wirtschaftskunde, Haushaltsökonomie und Ernährung* sowie *Ökonomie* direkt erwähnt.

Für das Fach *Physik* gibt es keinen wortwörtlichen Bezug, inhaltlich ist Nachhaltigkeit aber „mitgemeint“: „Außerdem hat der Physikunterricht den Schüler*innen in Verbindung mit anderen Unterrichtsgegenständen die Vielschichtigkeit des Umweltbegriffes bewusst zu machen“. Es wird vermerkt, dass der „Einfluss von *Physik und Technik auf gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Entwicklungen*“ thematisiert werden soll. In der Unterstufe (Sekundarstufe 1) soll man „Einsicht in die ökologische Bedeutung von *Energiesparmaßnahmen gewinnen und ökologische Handlungskompetenz aufbauen*“. Für die Oberstufe (Sekundarstufe 2) gilt es „rationale *Kritikfähigkeit bei gesellschaftlichen Problemen* (z. B. *Klimawandel, Energie, Mobilität*) [zu] entwickeln“. An dieser Stelle sei auch noch auf die entsprechende Anknüpfung im Kompetenzmodell verwiesen: In der Handlungsdimension finden wir den Bereich *Standpunkte begründen und aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten*. Fragen der Nachhaltigkeit sind hier zu verorten, geht es in diesem Bereich doch um das „*Bewerten, Entscheiden, Handeln*“, wobei auch „über innerphysikalische Zusammenhänge hinausgehende Aspekte“ berücksichtigt werden sollen.

3. Eine Lernumgebung zum Thema Nachhaltiges Energiemanagement?

Für die hier präsentierte *Blended Learning Umgebung zum Kompetenzerwerb Nachhaltiges Energiemanagement* – kurz: BLUKONE – wurde versucht, möglichst viele dieser vielfältigen Anforderungen zu kombinieren. Die Materialien für diese Lernumgebung und mehr Hintergrund-Informationen sind unter <https://blukone.univie.ac.at/> frei zugänglich.

Für wen ist BLUKONE?

Der Einsatz dieser Lernumgebung war ursprünglich für Schüler*innen der 11. Schulstufe an Höheren Technischen Lehranstalten (HTL) vorgesehen. Unabhängig von der Fachrichtung kann BLUKONE dabei etwa im Rahmen eines Frei-/Wahlfachs umgesetzt werden. Der Einsatz der entwickelten Materialien ist allerdings auch für andere Schulen und Schultypen zu empfehlen: Vielleicht sind Sie ja gerade dabei, an Ihrer Schule eine neue Unverbindliche Übung zu konzipieren, mit der Sie das Prinzip der Nachhaltigkeit Ihren Schüler*innen nahebringen wollen? Oder Sie arbeiten schon daran, dass sich Ihre Schule als ÖKOLOG-Schule (<https://www.oekolog.at/>) zertifiziert. Dann könnten Sie BLUKONE auch an Ihrer Schule einsetzen. Falls Sie nicht alle Aspekte exakt übernehmen wollen, könnte die Struktur von BLUKONE ein geeignetes Gerüst bilden, das Sie mit eigenen Inhalten ergänzen.

Zeitlicher Aufwand

Die Lernumgebung wurde als einstündiges Wahlfach konzipiert. Idealerweise wird dabei im Präsenzunterricht in Doppelstunden-Blöcken gearbeitet (vgl. Abb.1). Aufgaben, die Einzelarbeit erfordern, werden zum Teil zuhause, im eigenen Tempo, erledigt.

BLUKONE



EcoQuest0 Einstieg	2 UE
EcoQuest1 Nachhaltig Kaffee kochen	4 UE
SideQuests 1	2 UE
EcoQuest2 Expertise entwickeln (Bau / Licht / Mobilität / Photovoltaik)	8 UE
SideQuests 2	2 UE
EcoQuest3 Vision des Einsatzes nachhaltiger Energie in Unternehmen	4 UE
SideQuests 3	2 UE
EcoQuest4 Ziele und Maßnahmen	6 UE
SideQuests 4	2 UE
EcoQuest5 Planspiel „Nachhaltiges Energiemanagement“	4 - 6 UE
Summe	28-30 UE + 8 UE

Abbildung 1: Ein Überblick über den zeitlichen Aufwand der einzelnen BLUKONE-Module

Ein Freifach in dieser Form entspricht nicht dem, was an Ihrer Schule umgesetzt werden kann? Die Struktur von BLUKONE sieht vor, dass auch einzelne Blöcke (EcoQuests) lösgelöst von der gesamten Lernumgebung eingesetzt werden können, z. B. im Rahmen von Physik-Labor-Stunden oder von Projektunterricht in der letzten Semesterwoche. *EcoQuest 1* „*Nachhaltig Kaffee kochen*“ ist dafür besonders gut geeignet.

Die Struktur der Lernumgebung

Um alle Aspekte nachhaltigen Energiemanagements abbilden zu können und wirkungsvoll umzusetzen, wurde BLUKONE als *Blended-Learning Planspielszenario* realisiert: Im Blended-Learning werden unterschiedliche Lern- und Lehr-Methoden kombiniert, meist digital unterstützt. Oft wechseln sich auch Phasen von Individualarbeit und Gruppenarbeit ab. Diese innere Struktur wurde für BLUKONE anschließend noch in eine Spiel-Logik eingebettet, um den kompetitiven Charakter etwas zu verstärken und die Motivation der Lernenden zu steigern.

Inhalte und Entstehung der Lernumgebung

Das Ziel von BLUKONE ist die Vermittlung der Inhalte und Kompetenzen, die ein/e „*Nachhaltige/r Energiemanager*in*“ benötigt. Basierend auf dem *Europäischen Kompetenzrahmen für die berufliche Bildung EQR* sowie unter Einbeziehung der geltenden (HTL-)Lehrpläne und von Kompetenzüberlegungen zu *Bildung für nachhaltige Entwicklung* entstand die BLUKONE-Lernumgebung. Einen groben Überblick darüber, welche Kompetenzen dabei in den einzelnen Gruppenphasen (*EcoQuests*) angesprochen werden, finden Sie in Abb. 2: Jede Zeile der Tabelle entspricht hier einem *EcoQuest*, die Inhalte

und Kompetenzen sind in den Spalten zusammengefasst. Genauere Informationen zu den *EcoQuests* finden Sie im nächsten Abschnitt.

	Inhaltsdimension	Handlungsdimension	personal/soziale Dim.
	Energie(-effizienz), Nachhaltigkeit auf persönlicher Ebene	Input-/Output-Analyse, Kostenrechnung	Gruppendiskussion, reflektierte Entscheidungsfindung
	Licht, Mobilität, Passivbau, Photovoltaik	Info-Folder, Angebot, Präsentation	Komplexere Entscheidungsfindung
	Firmen-Energiepolitik	Energiemanagement (ISO 50001)	Entscheidungsfindung, konstruktives Feedback
	Ziele und Maßnahmen	Energiepolitik	Marketing
	Nachweis der Kompetenzen und Fähigkeiten in einem Planspiel		

Abbildung 2: Überblick über die Kompetenzen, die in der Lernumgebung abgedeckt werden (jede Zeile der Tabelle entspricht einem *EcoQuest* – s. u.)

Die Lernumgebung wurde im gesamten Entwicklungsprozess laufend getestet, evaluiert und überarbeitet, mit der Unterstützung von HTL-Lehrkräften und -Schüler*innen (aus Wien, Niederösterreich und Burgenland), sowie Studierenden der Universität Wien. 2014 wurde die Lernumgebung schließlich finalisiert und auf einer Webpage der Universität Wien veröffentlicht. Da diese finale Version nicht mehr brandneu ist, lohnt es sich sicher, die Schüler*innen zusätzlich noch auf einen kurzen Abstecher ins *world wide web* zu schicken, um aktuellere Daten wie tagesaktuelle Kaufpreise oder neue wissenschaftliche Erkenntnisse miteinzubeziehen. Auch wenn die finale Version der Lernumgebung schon einige Jahre alt ist, ist BLUKONE noch immer aktuell, wenn nicht sogar aktueller denn je, da das Lernenden-Interesse an diesem Thema in den letzten Jahren deutlich gestiegen ist.

4. Wie funktioniert diese Lernumgebung nun in der Praxis?

Die Lernumgebung ist, grob gesagt, wie so manches Computerspiel aufgebaut: Der Spieler oder die Spielerin wählt einen Avatar, der bestimmte Eigenschaften hat und welcher sich im Laufe des Spiels weiterentwickelt und verbessert. Um die jeweils höheren Levels (hier: *EcoQuests*) freischalten zu können, muss der Avatar einen vorgeschriebenen „Entwicklungsstand“ erreicht haben.

Die BLUKONE-Spielcharaktere

Als erstes wählt der/die Lernende einen Spielcharakter aus, basierend auf den eigenen Stärken und Schwächen, und wird für das Spiel zu **Allrounder*in**, **Kommunikationstalent**, **Praktiker*in**, **Technikfreak** oder **Technische/r Networker*in**. Jedem dieser Charaktere sind gewisse Startwerte, aufgeteilt auf die Kategorien **Wissen** / **Geschicklichkeit** / **Charisma** zugeordnet. Die passende Charakterkarte zeigt auf

der Vorderseite ein Bild des entsprechenden Charakters, auf der Rückseite werden die drei Charakterwerte sowie dessen Erfahrungswert, also sein Spielfortschritt, visualisiert. In Abb. 3 sieht man die fünf unterschiedlichen Charakter-Typen, sowie exemplarisch die Rückseite der Spielkarte „Allrounder*in“ mit den schon voreingetragenen Startwerten.

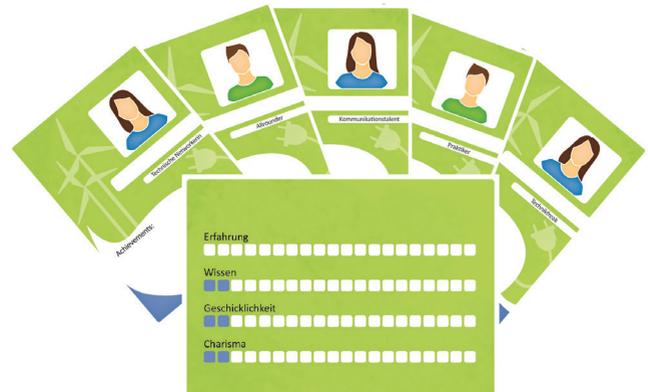


Abbildung 3: Die BLUKONE-Charakterkarten

Die BLUKONE-Teams

Anschließend bilden (je nach Klassengröße) idealerweise je fünf unterschiedliche Charaktere gemeinsam ein BLUKONE-Team, das alle Gruppenaufgaben (*EcoQuests*) gemeinsam meistert – zum Teil kooperativ mit Mitgliedern der anderen Teams, zum Teil kompetitiv.

EcoQuests – die großen Gruppenaufgaben

Diese Gruppenaufgaben bilden die großen Levels des Spielsystems. Sie sind in der Gruppe gemeinsam zu bearbeiten und vermitteln jenes Wissen, das für das Erlangen des Ausbildungsziels „Nachhaltige/r Energiemanager*in“ unbedingt notwendig ist. Dabei wird neues Wissen erarbeitet, sowie schon Gelerntes umgesetzt bzw. gemeinsam erarbeitetes Wissen angewendet. Das Lösen von *EcoQuests* nimmt meist mehrere Unterrichtseinheiten in Anspruch. Die erfolgreiche Bearbeitung bringt jedem Gruppenmitglied Erfahrungspunkte, die auf der Rückseite der Charakterkarte dokumentiert werden können. Wie gut die Aufgabenstellung von den Lernenden bearbeitet worden ist und wie viele Erfahrungspunkte deren Spielcharaktere erhalten, entscheidet die Lehrkraft.

Auf den *EcoQuest*-Seiten der BLUKONE-Webpage finden Sie und Ihre Klasse alle weiteren detaillierten Informationen zum Ziel des jeweiligen *EcoQuests*, Anweisungen, einen Planer (zeitlichen Überblick) sowie Hinweise zu Spielregeln und Hintergrundwissen. In Abb. 4 sehen Sie die Kurzzusammenfassung zu *EcoQuest* 1 von der entsprechenden *EcoQuest*-Webseite; Abb. 5 zeigt alle wichtigen Aspekte des *EcoQuest*1 auf einen Blick (aus der Präsentation – in den Lehrer*innenmaterialien). (Die Farben gelb, blau und rot veranschaulichen in den Materialien, ob ökologische, ökonomische oder soziale Aspekte gemeint sind.)

EcoQuest 1

In EcoQuest 1 untersucht ihr unterschiedliche Kaffeezubereitungsarten. Anschließend entscheidet ihr euch für eine Kaffeemaschine, die ihr einem Freund/einer Freundin schenken würdet.

Welche sucht ihr aus?

Der Kaffee soll natürlich gut schmecken und einfach zubereitet werden können.

Zu teuer sollte es auch nicht werden.

Und natürlich ist es wichtig, dass nicht zu viel Energie benötigt wird.

• Ziele des EcoQuest1

Ihr kocht im Team Kaffee und beurteilt die Kaffeezubereitungsart auf Energieeffizienz, Kosten, Geschmack bzw. Handhabung.

Ihr wiederholt bzw. vertieft euer Wissen zu Energie und Energieeffizienz.

Ihr setzt euch im Team auf einer persönlichen Ebene mit Nachhaltigkeit auseinander.

Ihr lernt folgende Tools kennen und unter Anleitung richtig anwenden: Input/Output-Analyse,

Kostenrechnung, Gruppendiskussion und die Argumente-Kommode.

Ihr trefft in einer Gruppe reflektiert eine einfache Entscheidung.



Abbildung 4: Einleitung zu EcoQuest 1 auf der BLUKONE-Webpage

EcoQuest1 „Nachhaltig Kaffee kochen“

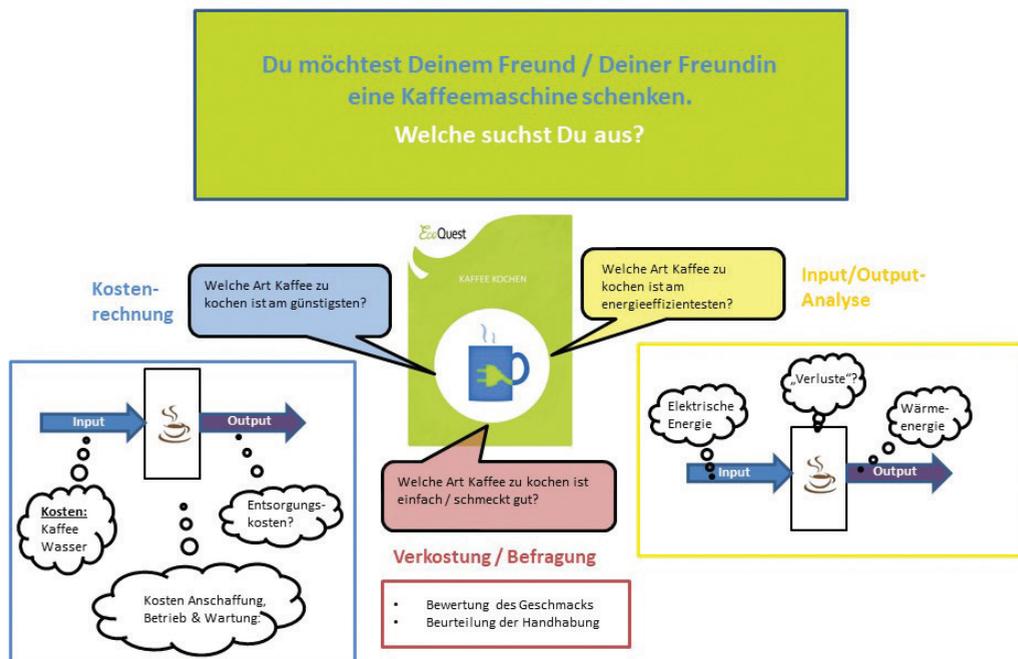


Abbildung 5: Der Inhalt von EcoQuest 1 „Nachhaltig Kaffee kochen“ im Überblick

SideQuests – die kleineren Nebenaufgaben

Natürlich möchte jeder seinen eigenen Spielcharakter während des Spiels individuell weiterentwickeln, also die Schwächen verringern und die Stärken weiter ausbauen. Das geschieht in den *SideQuests*. Diese sind im Allgemeinen alleine zu lösen, relativ frei wählbar und vor allem schneller zu bearbeiten als die *EcoQuests*. Je nach Aufgabenstellung bringen die *SideQuests* maximal fünf Punkte, verteilt auf **Wissen, Geschicklichkeit und Charisma**. Sie bilden die verschiedenen Bereiche aus dem Lehrplan ab und vertiefen das Wissen, passende zum jeweiligen EcoQuest,weiter. *SideQuests* bieten neben ihrer Aufgabe innerhalb der Spiellogik von BLUKONE außerdem auch die Möglichkeit der Individualisierung: Sie als Lehrkraft können, je nach Ihrem Ermessen, Schüler*innen noch das Lösen

weiterer *SideQuests* nahelegen, etwa um besseren Schüler*innen die Möglichkeit einer Herausforderung zu bieten oder um schwächeren Lernenden die Vertiefung eines Lerngebiets aufzutragen.

Die EcoQuests (EQ) im Detail

Alle *EcoQuests* sind auch in Abb. 6 zusammengefasst, eine detaillierte Beschreibung der EQs folgt hier:

Das Hauptziel von **EQ0** ist es, sich erste Gedanken über nachhaltiges Energiemanagement zu machen und zu überlegen, welche Berufe in diesem Zusammenhang zu erwarten sind

und welches Tätigkeitsfeld am besten zu den eigenen Stärken passen würde.

Anschließend, in **EQ1 „Nachhaltig Kaffee kochen“**, bereiten die Schüler*innen im Team auf unterschiedliche Arten Kaffee zu. Sie beurteilen die Kaffeezubereitungsarten, angeleitet durch die Materialien, im Hinblick auf Energieeffizienz, Kosten, Geschmack bzw. Handhabung. Weiters könnte man auch den gesundheitlichen Aspekt des Kaffeetrinkens bzw. unterschiedlicher Zubereitungsarten thematisieren, der in der aktuellen Version der Lernumgebung noch nicht inkludiert ist. In einer Gruppendiskussion muss die Entscheidung fallen: Welche Kaffeemaschine ist der Favorit? Welche Kaffeemaschine würdest du einer nahestehenden Person (Freund*in, Eltern, o.ä.) schenken? Die Schüler*innen lernen im EQ1 die Tools Input-Output-Analyse sowie Kostenrechnung kennen und wenden zum ersten Mal die Argumente-Kommode (vgl. [6]) an, um die verwendeten Argumente zu charakterisieren, in Bezug auf Sachlichkeit, persönliche Werte und Interessen.

*Die Argumente-Kommode wird in EQ1 zunächst für die Analyse des Entscheidungsprozesses eingesetzt: Wenn die Gruppe sich also für eine Kapselmaschine entscheidet, weil der/die zu Beschenkende in der Früh schnell und unkompliziert einen Kaffee trinken will und es sich finanziell leisten kann, teure KaffEEKapseln zu kaufen, so sind hier zum einen **ökonomische Aspekte** (teure Kapseln), zum anderen auch **„soziale“ Aspekte** (der Kaffee soll schnell und unkompliziert gemacht werden können) relevant. (Weiters fällt anhand der Argumente-Kommode sofort auf, dass der **ökologische Aspekt** der Nachhaltigkeit hier nicht thematisiert wurde.)*

*Die beiden genannten Argumente haben außerdem mit den **Interessen** des/der zu Beschenkenden zu tun: Dieser Person sind genau diese Aspekte wichtig bzw. unwichtig (siehe dazu Anleitung zum Arbeitsblatt „Argumente-Kommode“, das auf der Webseite verfügbar ist.*

Im Rahmen von **EQ2 „Expertise entwickeln“** erarbeiten sich die Schüler*innen Wissen zu den Themen Bau, Lichtlösungen, Mobilität und Photovoltaik. Sie erstellen im Namen einer

(fiktiven) Firma einen Info-Folder, ein Angebot sowie eine Präsentation zu den angebotenen Technologien sowie konkreten Produkten/Produktlösungen. In den BLUKONE-Teams werden die vier Angebote diskutiert und abschließend eines davon ausgewählt. Die Lernenden setzen sich im Rahmen dieser Aufgabenstellung mit Kriterien zur Bewertung von Nachhaltigkeit wie z. B. mit Energiebilanz, Energieausweis, „CO2-Rechner“, z. B. dieser CO2-Rechner des FORUM Umweltbildung: <https://www.co2-rechner.at/> auseinander. Sie wenden Kostenrechnung im betrieblichen Kontext an.

In **EQ3 „Vision – nachhaltiger Einsatz von Energie in Unternehmen“** folgt eine angeleitete Recherche im Team, um Informationen zu einem beliebig gewählten Unternehmen und dessen aktuellem Umfeld bzw. zum Energiebedarf zu ermitteln. Natürlich kann hier auch die eigene Schule gewählt werden. Sie werden angehalten, sich mit Umweltbericht und Leitbild des Unternehmens auseinanderzusetzen; falls möglich, ist auch eine Betriebsbesichtigung bei diesem Unternehmen angedacht. Die Lernenden wenden das Tool Projektumfeldanalyse an und setzen sich mit Elementen des Energiemanagementsystems ISO 50001 auseinander.

Für **EQ4 „Ziele und Maßnahmen“** entwickeln die Schüler*innen in Teams Ziele und Maßnahmen für den nachhaltigen Einsatz von Energie im zuvor gewählten Unternehmen. Eine geeignete Marketing-Strategie wird entworfen bzw. umgesetzt z. B. als Werbefilm. Im Rahmen dieser Aufgabenstellung setzen sich die Schüler*innen mit Leitbildern von Unternehmen auseinander, um daraus Ziele und Maßnahmen nachhaltigen Energiemanagements zu entwickeln.

Das große Finale folgt in **EQ5 Planspiel „Nachhaltiges Energiemanagement“**: Die Schüler*innen zeigen, welche(s) Wissen / Können / Kompetenzen sie sich im Laufe von BLUKONE erarbeitet haben, indem sie eine komplexe Problemstellung bearbeiten, die realen Anforderungen an

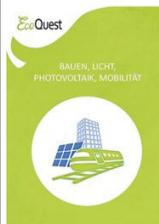
EcoQuest 0	EcoQuest 1	EcoQuest 2	EcoQuest 3	EcoQuest 4	EcoQuest 5
					
Die eigenen Stärken einsetzen und ein BLUKONE-Team bilden	Nachhaltig Kaffee kochen – Grundbegriffe zu Energie wiederholen und Tools für Nachhaltiges Energiemanagement kennen lernen	Expertise zu Nachhaltigem Energiemanagement gewinnen – Teilbereiche Lichtlösungen, Mobilität, Passivbau und Photovoltaik	Die Vision nachhaltiger Einsatz von Energie im Unternehmen	Ziele und Maßnahmen entwickeln	„Das Finale“: Ein Rollenspiel zu Nachhaltigem Energiemanagement

Abbildung 6: Ein Überblick über die Themen der EcoQuests

nachhaltiges Energiemanagement nachempfunden ist. Die Lernenden setzen sich im Rahmen dieser Aufgabenstellung schon im Vorfeld mit den Persönlichkeiten der (fiktiven) Personen im Unternehmen, die sie in diesem Planspiel verkörpern werden, auseinander. Sie entwerfen selbst die Rollenkarten, die unter anderem beschreiben, welche persönlichen Interessen und Werte diese Person in ihren Entscheidungen leiten (vgl. Argumente-Kommode).

Die Verwaltung der Punktestände

Um einen Überblick über die Punktestände der Schüler*innen und BLUKONE-Teams behalten zu können, haben Sie als Lehrkraft neben der Nutzung z. B. eines schulinternen Moodle-Kurses auch die Möglichkeit, eine schon vorbereitete Tabellenkalkulationsdatei zu verwenden, die ein automatisch erstelltes Übersichtsblatt nutzt. Zusätzlich oder alternativ dazu wäre eine in der Klasse aufgehängte Dokumentation auf Plakaten (zusätzlich zu den Charakterkarten) denkbar.

Der Abschluss

Ein Kompetenzkatalog listet alle Tools und Kompetenzen auf, die in der Lernumgebung erlernt und angewendet werden. Dieser Katalog kann als Anhang zu einer Urkunde verwendet werden, die alle Schüler*innen erhalten, die BLUKONE vollständig durchlaufen und erfolgreich abgeschlossen haben.

5. Wie kann BLUKONE für die Nutzung an der AHS adaptiert werden?

Die *EcoQuests* „Nachhaltig Kaffee kochen“ (EQ1) und „Expertise entwickeln“ (EQ2) bieten für die Anwendung im AHS-Bereich die besten Voraussetzungen, da sie nicht so sehr auf den betrieblichen Kontext fokussieren wie *EcoQuests 3–5*, die mehr auf HTL-spezifische Anforderungen eingehen. Die Dauer aller *EcoQuests* ist in Abb. 1 vermerkt. Für die Umsetzung von *EcoQuest 1* sind dort 2 Doppelstunden vorgesehen: eine für Vorbereitung und Experimentieren; die zweite wird für Auswertung und Diskussion sowie Reflexion benötigt.

Für *EcoQuest 2* sind idealerweise die folgenden Doppelstunden-Blöcke vorgesehen:

- Lernpfade Bau / Licht / Mobilität / Photovoltaik inkl. Abschluss-Quiz
(Diese Blöcke können parallel in Expertengruppen im Rahmen eines Gruppenpuzzles bearbeitet werden.)
- Erstellen von Info-Material zum gewählten Thema
- Erstellen eines Angebots einer (fiktiven) Firma aus der jeweiligen Branche inkl. Präsentation für potentielle Kunden
- Rollenspiel zu *EcoQuest 2* inkl. Reflexion zum Rollenspiel

6. BLUKONE in der Unterstufe verwenden?

Natürlich können einzelne *SideQuests* auch schon in der Unterstufe durchgeführt werden, aber auch Teile von *EcoQuest 1* oder Teile von *EcoQuest 2* sind in für das Alter angepasster Variante verwendbar. Da diese Altersgruppe nicht die ursprüngliche Zielgruppe darstellt, folgen hier nur ein paar Überlegungen dazu, wie Sie dies in Ihrem Unterricht umsetzen könnten:

EcoQuest 1 „Kaffee kochen“ in der Unterstufe

Für diese Altersstufe sollte wohl auf das Experimentieren und Diskutieren in Kleingruppen verzichtet werden, um die Gesamtdauer zu minimieren. Es kann stellvertretend eine Kaffeezubereitungsmethode ausgewählt werden, die mit der Klasse gemeinsam durchgeführt wird, wobei jede*r die Messdaten dokumentiert. Die Auswertung sowie die Interpretation der Daten geschieht anschließend gemeinsam im Klassenverband. Die Messdaten der anderen Kaffeekoch-Varianten müssen der Klasse anschließend von der Lehrkraft zur Verfügung gestellt werden, damit die Schüler*innen die Diskussion sinnvoll vorbereiten können. Für die Diskussion kann die **Fishbowl-Variante** genutzt werden: Die Argumente für die Diskussion werden in mehreren Gruppen vorbereitet. Ein/e Vertreter*in jeder Gruppe wird diese dann anschließend in der Diskussion repräsentieren. Diese Diskussion findet in einem Sesselkreis in der Mitte der Klasse statt. (Je nach Klasse oder Diskussionsfluss kann man auch einen heißen Stuhl einführen, auf dem eine Person aus dem Publikum kurzfristig Platz nehmen kann, um weitere wichtige Argumente zu ergänzen.) Die beobachtenden Schüler*innen sammeln die in der Diskussion vorkommenden Argumente und ordnen sie anschließend den drei Kategorien *Sachwissen / (persönliche) Normen & Werte / Interessen* auf dem Arbeitsblatt Argumente-Kommode zu. Außerdem leitet das Arbeitsblatt weiter dazu an, zu markieren, welchem Bereich der Nachhaltigkeit (*Ökologie, Ökonomie oder Soziales*) das Argument angehört. Wichtig ist auf jeden Fall eine abschließende Besprechung der Sequenz im Klassenverband, um den Schüler*innen vor Augen zu führen, wie schwierig es ist, sich in solchen Diskussionen und Entscheidungsprozessen auf „objektive“ Fakten zu berufen, gerade bei alltäglichen Entscheidungen.

EcoQuest 2 in der Unterstufe

Bei einer Abwandlung von *EcoQuest 2* für die Unterstufe ist es sicher sinnvoll, sich auf eine der Spezialisierungen (Bau, Lichtlösungen, Mobilität oder Photovoltaik) zu beschränken. An dieser Stelle sei auch kurz auf das Nachfolgeprojekt *SOLARbrunn* [7] verwiesen, im Zuge dessen Unterrichtsmaterialien zu den Themen *Photovoltaik* und *Wohlbehagen (in Räumen)* für Unterstufe und Oberstufe entstanden sind. Die Photovoltaik-Materialien der Unterstufe könnten hier ergänzend zu EQ2 eingesetzt werden.

Eine weitere Variante von *EcoQuest 2* für die Unterstufe entsteht aus einer Kombination der beiden Themen Licht und Photovoltaik: In einem Lokalaugenschein erheben die Lernenden, wie viele Lampen es an ihrem Schulstandort gibt, und um welche Lampentypen (Leuchtstoffröhre, LED, etc.) es sich handelt. Je nach Interesse der Klasse und Zeitbudget kann man in diesem Zusammenhang auch mehr in die Tiefe gehen und die Energieeffizienz der unterschiedlichen Leuchtmittel oder wie das Licht welcher Lampenarten empfunden wird bzw. deren „Lichtqualität“ explizit thematisieren. Der Gesamtenergiebedarf wird im Klassenverband gemeinsam berechnet. Nach einer Input-Phase zu Photovoltaik (vgl. [7] sowie die Publikation von Bartosch und Schlosser in diesem Heft) werden gemeinsam Überlegungen angestellt, ob das Schuldach groß genug wäre, um die gesamte Beleuchtung der Schule mit Energie aus Photovoltaik zu betreiben. Um die generelle Struktur des EQ2 zu übernehmen, kann anschließend ein Rollenspiel in Fishbowl-Variante umgesetzt werden. Es wird den Schüler*innen sicher Freude bereiten, einmal als Direktor*in, Lehrer*in, Elternvertreter*in, Schulsprecher*in, Schulfachwart*in o. ä. aufzutreten.

7. Welche Erfahrungswerte gibt es zu BLUKONE?

Die hier präsentierte Lernumgebung wurde schon während ihrer Entwicklung laufend pilotiert und nach der Finalisierung der Lernmaterialien evaluiert (vgl. [8] - [13]). Hierbei wurde zum einen das Wissen der Schüler*innen zu Energie und nachhaltiger Nutzung von Energie, sowie ihre Einstellung und ihre Erfahrungen zu diesem Thema per Fragebogen erhoben – vor und nach dem Einsatz von BLUKONE im Unterricht. Für die Befragung wurden Fragebogen-Items von Neumann et al. [14] und DeWaters & Powers [15] eingesetzt; die untersuchte Stichprobe umfasste aus organisatorischen Gründen nur 128 Schüler*innen. Vor BLUKONE hatten die Schüler*innen ein noch nicht sehr ausgeprägtes **Wissen zu Energie(-themen)**. Beim Vergleich der Ergebnisse vor und nach BLUKONE zeigte sich insgesamt eine positive Veränderung der Antworten auf Fragebogen-Items zu **Energie-Konzepten** – dies betrifft Aufgabenstellungen zu Energie-Formen, -Transformation, -Entwertung und -Erhaltung, wobei die Verbesserung bei den Items zu Energie-Erhaltung am deutlichsten ausfiel. In Bezug auf allgemeines Energie-Wissen zeigte sich ebenfalls eine positive Änderung, so wie auch bei der Einstellung der Schüler*innen zur nachhaltigen Nutzung von Energie und der Beurteilung des eigenen Verhaltens in Bezug auf Nachhaltigkeit [15].

Weiters wurden auch die Gespräche der Schüler*innen in Gruppendiskussionen und Rollenspielen analysiert [16] - [19]. Hier zeigte sich, dass im Rahmen einer Gruppendiskussion, die relative nahe am Alltag der Jugendlichen liegt (*Welche Kaffeemaschine werden wir verschenken?*), vor allem intuitive und schon erprobte Entscheidungsmuster zum Tragen kommen, und wenig(er) Bereitschaft besteht, sachliche(re) Argumente

und Fakten in die Entscheidungsfindung miteinzubeziehen. In einigen Fällen wurde das Ergebnis der Entscheidung allerdings im Nachhinein (sachlich) begründet. Durch eine entsprechende Anleitung in Form von Arbeitsblättern, Moderation der Diskussion und vor allem geeignete Vor- und Nachbereitung (vgl. [17]) kann die Qualität der Entscheidungsfindung (komplexere Argumentation, auf Daten basierend) verbessert werden (vgl. dazu auch [20]).

In Entscheidungssituationen, die weiter entfernt sind vom Alltag der Schüler*innen, wie etwa in den Rollenspielen der späteren *EcoQuests*, die im betrieblichen Kontext angesiedelt sind, verlassen sich die Beteiligten mehr auf Daten und Fakten sowie auf relevante Konzepte wie das der Nachhaltigkeit [10].

Wenig überraschend ist, dass jene Schüler*innen, die geringes Energiewissen besaßen, auf weniger komplexe Argumentationen zur Entscheidungsfindung im Kontext nachhaltige Nutzung von Energie zurückgriffen. Manch einer versuchte sogar, fehlendes Wissen durch rhetorische Leistung oder kompetitives Verhalten zu überspielen [10].

8. Wie komme ich zu meinen BLUKONE-Materialien?

Die gesamte Lernumgebung (also alle Materialien für Schüler*innen sowie für Lehrkräfte) ist auf der BLUKONE-Webpage frei verfügbar – dies gilt für Anleitungen, Präsentationen, Erläuterungen zum Kompetenzmodell, etc. Ein (ebenfalls dort herunterladbares) Handbuch für Lehrkräfte enthält alle wichtigen Informationen, die Sie für die Durchführung benötigen [26].



Abbildung 7: Link zur BLUKONE-Webpage <https://blukone.univie.ac.at/>

An dieser Stelle noch ein Tipp: Viele der Arbeitsblätter sind zum Ausdrucken gedacht, im Sinne der Ressourcenschonung können diese Materialien auch digital bearbeitet werden. Die Abgabe der Schüler*innen-Arbeiten kann dann z. B. über einen schulinternen Moodle-Kurs oder in MS Teams durchgeführt werden.

Vielleicht haben Sie jetzt Lust bekommen, auszuprobieren, wie sich Ihre Schüler*innen während der Arbeit mit der BLUKONE-Plattform weiterentwickeln? Vielleicht wollen Sie sehen, wie sich Ihre Klassen in Bezug auf ihr Wissen zu nachhaltiger Nutzung von Energie weiterentwickeln und dabei üben, bei Entscheidungen auf vielfältigere, datenbasierte Argumente zurückzugreifen?

Auf jeden Fall hoffen wir, dass Sie der Einsatz von BLUKONE oder auch nur ausgewählten Teilen davon für Ihren Unterricht reizt! Wir würden uns jedenfalls sehr darüber freuen, wenn Sie Ihre Erfahrungen und Anregungen mit uns teilen würden.

*Die Lernumgebung BLUKONE entstand aus einer Kooperation von Vertreter*innen der Gruppe Experimentelle Grundausbildung und Hochschuldidaktik (Fakultät für Physik der Universität Wien) und*

des Forums Umweltbildung (Umweltdachverband) sowie der ovos media GmbH und wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms "Neue Energien 2020" gefördert.

Roswitha Avalos Ortiz AHS-Lehrerin (Physik), vormals BLUKONE-Projekt-Mitarbeiterin (Gruppe Experimentelle Grundausbildung und Hochschuldidaktik der Universität Wien)

Literatur

- [1] Brundtland, G. H., Report of the World Commission on Environment and Development "Our Common Future". 1987.
- [2] Allen, M. e. a., Technical Summary: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat. 2019.
- [3] Cook, J., N. Oreskes, P. T. Doran, W. R. L. Anderegg, B. Verheggen, und E. W. Maibach, Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. in *Environmental Research Letters*. 2016. 11(4).
- [4] „Teachers for Future,“ [Online]. Available: <https://www.teachersforfuture.at/unterricht/material>. [Zugriff am 17 02 2020].
- [5] „Verordnung des Bundesministers für Unterricht und Kunst vom 14. November 1984 über die Lehrpläne der allgemeinbildenden höheren Schulen; Bekanntmachung der Lehrpläne für den Religionsunterricht an diesen Schulen,“ 1984. [Online]. Available: <https://www.ris.bka.gv.at/Geltende-Fassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>.
- [6] Feierabend, T. und I. Eilks, Der Klimawandel vor Gericht. Bewerten lernen als Kern allgemeiner Bildung und essentielle Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe. in *Plus Lucis*. 2011. 1.
- [7] „SOLARbrunn Unterrichtsmaterialien,“ [Online]. Available: <https://www.univie.ac.at/solarbrunn/>.
- [8] Bartosch, I. und R. Avalos Ortiz, BLUKONE-A Blended Learning Teaching Concept for Sustainable Energy Management Competences. 2013.
- [9] Bartosch, I. und R. Avalos Ortiz, A Novel Blended Learning Environment for Sustainable Energy Management—First Evaluation Results. 2014.
- [10] Avalos Ortiz, R. und I. Bartosch, Changes in students' knowledge, affect, and behavior during a sustainable energy management course. in *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science education research: Engaging learners for a sustainable future*. 2016, Helsinki, Finland.
- [11] Avalos Ortiz, R. und I. Bartosch, Entscheiden & Urteilen zu nachhaltigem Einsatz von Energie. in *Authentizität und Lernen—das Fach in der Fachdidaktik*. 2015, Berlin.
- [12] Avalos Ortiz, R. und I. Bartosch, Urteilen und Entscheiden im Kontext Nachhaltigkeit im Rahmen von BLUKONE. in *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. 2014, Bremen.
- [13] Avalos Ortiz, R. und I. Bartosch, BLUKONE - Mit einem Planspiel Nachhaltiges Energiemanagement lernen. in *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. 2013, München.
- [14] Neumann, K., T. Viering, W. J. Boone, und H. E. Fischer, Towards a Learning Progression of Energy. in *Journal of Research in Science Teaching*. 2013. 50(2): p. 162–188.
- [15] DeWaters, J. E. und S. E. Powers, Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior. in *Energy policy*. März 2011. 39(3): p. 1699-1710.
- [16] Avalos Ortiz, R. und I. Bartosch, BLUKONE. Nachhaltiges Energiemanagement in Unternehmen - für Schülerinnen und Schüler. 2015. [Online]. Available: <https://blukone.univie.ac.at/>.
- [17] Bittermann, M., Analyse von Bewertungskompetenz und Entscheidungsfindung in Lernendendiskussionen im Rahmen des EcoQuest1 des Projekts BLUKONE. 2018.
- [18] Hauer, J. M., Entwicklung diskursiver Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern einer österreichischen HTL im Verlauf eines Projekts zum nachhaltigen Energiemanagement. 2016.
- [19] Labrinopoulos, G., Entscheidungsprozesse im Kontext von nachhaltigem Umgang mit Energie. 2017.
- [20] Toeltsch, B., Vom Kaffeekochen und Urteilen. 2016.
- [21] Ratzek, J. und D. Höttecke, Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht. in *Plus Lucis*. 2020.
- [22] Avalos Ortiz, R., R. Steiner, und A. Streissler, BLUKONE – eine Blended Learning Umgebung zur Kompetenzentwicklung Nachhaltiges Energiemanagement. in *Book of Abstracts der 4. Österreichischen Konferenz für Berufsbildungsforschung*. 2014, Steyr.
- [23] Eggert, S. und S. Bögeholz, Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. in *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. 2006: p. 177-195.
- [24] Hößle, C. und J. Menthe, Urteilen und Entscheiden im Kontext Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ein Beitrag zur Begriffsklärung. in *Handeln lernen in Zeiten des Klimawandels. Bewerten lernen als Bildungsaufgabe*. 2013, Waxmann: Münster. p. 35-63.
- [25] Eilks, I., C. Hößle, J. Menthe, D. Höttecke, M. Mrochen, H. Oelgeklaus, und T. Feierabend, Der Klimawandel vor Gericht. Materialien für den Fach- und Projektunterricht. 2011: Aulis Verlag in Friedrich Verlag GmbH.
- [26] Falls Sie Interesse an weiterführenden Informationen bzw. dem Lehrer*innen-Handbuch haben, melden Sie sich bitte bei mir (roswitha.avalos-ortiz@univie.ac.at), um Zugang zu erhalten. Die Schüler*innen-Materialien und alle für die Durchführung notwendigen Materialien stehen offen auf der BLUKONE-Webseite zur Verfügung. Die finale Version der Lernumgebung stammt aus dem Jahre 2014, daher kann die Aktualität von externen Links nicht überall garantiert werden. Für EcoQuests gilt: relevantes Material ist zumeist auch in einer lokalen Version verfügbar. Das ursprünglich auf der Webpage implementierte Spielsystem mit integrierten Upload- und Auswertungsmöglichkeiten ist zur Zeit deaktiviert, da der Betreuungsaufwand zu intensiv ist, um ehrenamtlich umgesetzt werden zu können.

Photovoltaik in der Schule unterrichten

Viktor Schlosser und Ilse Bartosch

Photovoltaikanlagen spielen eine bedeutsame Rolle für klimaschonende Energiebereitstellung. Gleichzeitig besitzt der Unterricht über Photovoltaik nur eine geringe Relevanz in den österreichischen AHS-Lehrplänen. Das liegt nicht zuletzt daran, dass die didaktische Rekonstruktion der Grundlagen von Solarzellen anhand von konventionellen aus zwei Schichten aufgebauten Halbleiterdiodenkomplex ist und daher meist den Rahmen (allgemeinbildenden) schulischen Physik-Unterrichts sprengt. Erheblich verringern lässt sich der Erklärungsaufwand anhand einer aus drei Zonen aufgebauten sogenannten p-i-n-Solarzelle. P-i-n-Solarzellen sind Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium, die aus einer n-dotierten, einer p-dotierten und – dazwischen eingebettet – einer intrinsischen, undotierten Schicht bestehen. Im Folgenden soll ausgehend vom physikalischen Hintergrund von Solarzellen, ein Unterrichtskonzept vorgestellt werden, wie Photovoltaik mit den Lernenden im Physikunterricht der Oberstufe, aber auch der Unterstufe erarbeitet werden kann.

Physikalische Grundlagen

Bereits im Jahr 1839 beschrieb A. E. Becquerel den photovoltaischen Effekt [1]. Bis zur Präsentation der ersten Solarzelle 1954, die auf der Basis des physikalischen Wissens aus der Halbleiterphysik entworfen und gebaut wurde, vergingen mehr als 100 Jahre. Im Rückblick bedurfte es lediglich dreier Wissenserweiterungen in der Physik, um von der erstmaligen Beobachtung des Phänomens zu einem funktionstüchtigen Element der Energiekonversion für einen Satelliten (1958) zu gelangen [2]:

1. Die Einführung des „Lochs“ als positiv geladenen, mobilen Ladungsträger im Halbleiter
2. Die Kontrolle der elektrischen Eigenschaften eines Halbleiters durch Dotierung
3. Die „Erfindung“ des Lichtquants [3]

Der Ladungstransport im Halbleiter

Einzelne Atome bestehen aus einem Kern der eine dem Element charakteristische Anzahl von positiven Ladungen (Protonen) hat. Die gleiche Anzahl von Elektronen mit negativer Ladung sind verschieden stark an diesen Kern gebunden und befinden sich in definierten Aufenthaltsräumen mit entsprechenden Energieniveaus. Kondensieren Atome zu einem Festkörper, so überlappen die Aufenthaltsräume der am wenigsten stark gebundenen Elektronen. Benachbarte Atome teilen sich – anschaulich gesprochen – einige Elektronen, um in einen (energetisch) stabilen Zustand zu gelangen (Edelgaskonfiguration). Die beteiligten Elektronen „binden“

die Atome zu einer Anordnung, dem Festkörper, und heißen deswegen Valenzelektronen. Hier sei angemerkt, dass die resultierende Struktur der Atome im Festkörper entweder geordnet in Form eines geometrischen Kristallgitters oder (zu mindestens scheinbar) völlig ungeordnet sein kann. Im letzten Fall nennt man den Festkörper amorph.

In den 1940er Jahren befassten sich vornehmlich in den USA mehrere Forscher*innen intensiv mit jener Gruppe von kristallinen Festkörpern, die unter dem Begriff Halbleiter zusammengefasst wurden. Ihre Ergebnisse bilden heute die Grundlage der wissenschaftlich fundierten Halbleiterphysik und führten auch sehr rasch zu praktischen Anwendungen – wie etwa den Transistor (1947). Anwendungen, basierend auf Halbleitermaterialien gab es zwar bereits wesentlich früher. Allerdings fielen sowohl Herstellung als auch funktionelles Verstehen eher in den Bereich der Alchemie als in jenen der Naturwissenschaften [4]. Aus dieser Vorgeschichte stammt auch der Begriff „Halbleiter“. Halbleiter sind im Gegensatz zu Isolatoren elektrisch leitend, jedoch deutlich schlechter als Metalle.

Wie der Ladungstransport in (Alkali)Metallen abläuft, konnte bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts zufriedenstellend erklärt werden. Bei der Bildung eines Kristallgitters aus Metallatomen werden weniger gemeinsame Elektronen benötigt als zur Verfügung stünden. Für jedes Atom gibt es ein überzähliges Elektron, das sich in der Folge innerhalb des Kristalls frei bewegt und eine negative Ladung mit sich führt. Als Konsequenz der Ladungserhaltung verbleiben an den Gitterplätzen jeweils einfach positiv geladene Ionen des Elements. Makroskopisch gesehen schirmen die beweglichen negativen Ladungen die ortsfesten positiven Ionen vollständig ab und der Festkörper erscheint nach außen hin elektrisch neutral. Zur Beschreibung der Bewegung der mobilen Ladungsträger im Kristall übernahm man aus der Thermodynamik das Modell eines verdünnten, idealen Gases und sprach daher von einem Elektronengas nach Drude [5]. Zwar musste der ursprüngliche Ansatz seither modifiziert und erweitert werden, trotzdem findet er auch heute weiterhin Verwendung, um die elektrische Leitfähigkeit von Metallen zu erklären.

Die elektrische Leitfähigkeit σ eines Metalls skaliert direkt mit der Anzahl der mobilen Elektronen und kann wie folgt beschrieben werden:

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu_n \quad (1)$$

Symbol	Bedeutung	Einheit
q	Betrag der Elementarladung	$1,602 \times 10^{-19}\text{C}$
n	Elektronendichte	cm^{-3}
μ_n	Elektronenbeweglichkeit	$\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

Die beobachtete, geringe Leitfähigkeit in Halbleitern lässt vermuten, dass wesentlich weniger bewegliche Ladungsträger als im Metall vorhanden sind. Eine auf der Analyse der Kristallstruktur von Germanium beruhende Betrachtung zeigt, dass alle Valenzelektronen für die Bindung im Kristall benötigt werden. Freie Ladungsträger sind daher zunächst nur durch eine thermische Aktivierung zu erwarten. Dies führt zum Aufbrechen einzelner Valenzbindungen. Betrachtet man die Situation für Germanium bei Raumtemperatur, so zeigt sich, dass für das Aufbrechen einer Bindung eine Energie von wenigstens 0,7 eV ($\sim 1,12 \times 10^{-19}$ J) notwendig ist. Das heißt, um aus einem Valenzelektron ein frei bewegliches Leitungselektron zu generieren, muss wenigstens die Energie von 0,7 eV zugeführt werden. Ohne externe Energiezufuhr bleibt lediglich die, durch die Temperatur bestimmte, thermische Anregung des Elektrons. Für $T = 300$ K ist die thermische Energie $k_B T \sim 0,025$ eV ($\sim 4 \times 10^{-21}$ J). Hierbei ist k_B die Boltzmannkonstante. Die Wahrscheinlichkeit einer thermischen Aktivierung eines Elektrons ist zwar > 0 ($\sim 1:10^{12}$), aber ihre Chancen im Lotto den Haupttreffer zu machen wären demgegenüber unvergleichlich größer ($\sim 1:6 \times 10^9$). Das bedeutet, dass nur sehr wenige Elektronen angeregt werden und zur elektrischen Leitfähigkeit beitragen. Zum Zeitpunkt der Anregung fehlt das Valenzelektron am Ort des betroffenen Atoms. Es entsteht ein „Loch“. Das betroffene Atom ist wiederum einfach positiv ionisiert, kann aber aufgrund der geringen Anzahl an mobilen Elektronen im Kristall nicht vollständig abgeschirmt werden. Das führt dazu, dass ein Elektron von einem der benachbarten Atome angezogen wird. Das Atom kehrt vom ionisierten wieder in den neutralen Zustand zurück. Für diesen Vorgang ist nahezu keine Energie erforderlich und daher tritt ein derartiges Ereignis mit hoher Wahrscheinlichkeit ein. Das Loch wird von einem ortsfesten Gitterplatz zum nächsten weitergereicht und ionisiert das hier lokalisierte Atom. Obwohl nicht existent, bewegt das Loch mit der Zeit eine positive Elementarladung durch den Kristall. Die Bewegungsrichtung kann als willkürlich, statistischen Schwankungen geschuldet, angenommen werden. Das heißt, die Bewegung wird jener einer Brownschen Bewegung ähnlich sein. Das ist vergleichbar mit der Bewegung der mobilen Elektronen im Elektronengas. Um diese Fluktuation der positiven Ladungen zu berücksichtigen, wurde ein Modell entworfen, das ursprünglich kühn war, sich in der Folge jedoch als genial erwiesen hat. Man definierte ein fiktives Teilchen, das Loch, das entsteht, wenn ein Elektron thermisch aktiviert wird und versah es mit einer Masse und einer positiven Elementarladung. Das ist das Konzept der Elektron-Lochpaarbildung ($e^- - h^+$ Paar). Das Loch kann sich im Modell frei durch den Kristall bewegen. Das Ensemble der mobilen Löcher betrachtete man als Gas und übernahm den Formalismus des, für Elektronen erprobten, Drudemodells. Die Leitfähigkeit ergibt sich in der Folge aus der einfachen Erweiterung von Gl. 1 um den Beitrag der Löcher, wobei p die Löcherdichte und μ_p die Beweglichkeit der Löcher darstellt:

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu_n + q \cdot p \cdot \mu_p \quad (2)$$

Im Halbleiter durchmischen sich in der Folge zwei Ladungswolken unterschiedlicher Polarität und makroskopisch herrscht wiederum Ladungsneutralität.

Bisher haben wir den Fall des reinen Halbleiters betrachtet. Es gilt $n = p$. Dieser Fall wird als intrinsisch bezeichnet (i -Ge). Die Beweglichkeit der Löcher μ_p ist im betrachteten Germanium etwa halb so groß wie jene der Elektronen, $\mu_n \sim 4000$ cm²/(V.s). Vergleicht man grob die Anzahl der Ladungsträger bei Raumtemperatur in einem Kubus von 1 cm³ von intrinsischem Germanium mit der Ladungsträgerzahl eines Metalls gleichen Volumens, so ergibt sich für i -Ge ein Wert von $\sim 10^{12}$ mobiler Ladungsträger ($n + p$), während im Metall $\sim 10^{23}$ Leitungselektronen vorhanden sind. Das bedeutet, dass aus i -Ge nur extrem schlechte elektrische Leiter hergestellt werden können. Das Material ist für technische Anwendungen – wenige Spezialfälle ausgenommen – uninteressant. Es stellt sich also die Frage, ob und wenn ja, wie, die elektrische Leitfähigkeit verbessert werden kann. Das führt uns zur Betrachtung des, in der Einleitung angesprochenen Aspekts, der Dotierung eines Halbleiters. Es handelt sich hierbei um die kontrollierte Beimischung kleinster Mengen von Fremdelementen, mit dem Ziel, gewisse Eigenschaften des Festkörpers zu manipulieren.

Im konkreten Fall stellt sich für uns die Frage: „Welche Fremdatome könnten im Germaniumkristall zur Verbesserung der Leitfähigkeit führen?“ Betrachtet man das Periodensystem, so findet man Germanium in jener Spalte, deren gemeinsame Eigenschaft es ist, in der äußersten, besetzten Schale vier Elektronen zu besitzen. Mit Germanium lässt sich ein Kristall aufbauen, dessen Struktur so beschaffen ist, dass jedes Atom an einem Gitterplatz vier Nachbarn hat und mit jedem seiner Nachbarn ein Valenzelektron teilt. Eine Beantwortung der folgenden Überlegung ist interessant: „Was geschieht aber nun, wenn wir im Kristall an einigen Gitterplätzen das Germanium durch ein Atom substituieren, dessen elementare Eigenschaft es ist, lediglich drei Außenelektronen zu besitzen?“ Die Anordnung der gleichartigen Germaniumatome im Kristallgitter soll dabei weiterhin erhalten bleiben. Das erfordert wiederum, dass das dreiwertige Dotieratom die ursprüngliche Kristallstruktur nicht zerstören darf. Unter den dreiwertigen Elementen hat sich Bor letztlich als am besten geeignet für eine Dotierung erwiesen. Werden während der Herstellung des Germaniumkristalls weniger als ~ 1 % Bor zugegeben, so behält der finale Kristall seine Struktur bei. Um sich in die Kristallstruktur einzufügen, hat das neutrale Boratom eine „starke Neigung“ ein zusätzliches Elektron permanent zu binden. Aufgrund des dafür erforderlichen geringen Energieaufwands reicht die thermische Energie bei Raumtemperatur bereits aus, um ein Valenzelektron eines angrenzenden Germaniumatoms zu aktivieren. In der Folge ist das Boratom einfach negativ ionisiert. Jedes an den Akzeptor (Bor „akzeptiert“ ein Elektron) gebundene Elektron fehlt im Valenzband der Germaniumstruktur und bildet daher ein mobiles Loch und damit einen positiven Ladungsträger. Die Leitfähigkeit vergrößert sich somit proportional zur Anzahl der inkorporierten (und ionisierten) Dotieratome. Da die

Ladungsträgerdichte der Löcher größer als jene der Elektronen ist ($p > n$), wird das mit einem Akzeptor (Bor) dotierte Germanium mit p -Ge gekennzeichnet. Der Halbleiter wird dann als extrinsisch bezeichnet. Ohne weitere Erklärung sei zudem erwähnt, dass für das Produkt der beiden Ladungsträgerdichten das Massenwirkungsgesetz, $n \cdot p = \text{const.}$ gilt.

Den Leserinnen und Lesern überlassen wir, herzuleiten, was der Einbau eines fünfwertigen Atoms, wie etwa Phosphor, in den Germaniumkristall bedeuten könnte.

Kurz zusammengefasst tragen in einem Halbleiter mobile positive **und** negative Ladungen zum Ladungstransport bei. Entweder die Elektronen- oder die Löcherdichten können durch entsprechende Dotierung in weiten Bereichen variiert werden.

Nachfolgend sei noch kurz auf die energetischen Verhältnisse eingegangen. Ausgangspunkt der Überlegung ist die Bandlücke. Als Bandlücke bezeichnet man in der Festkörperphysik jene Energie, die minimal notwendig ist, um ein Elektron vom gebundenen Zustand des Valenzelektrons in den freien Zustand des Leitungselektrons überzuführen. Der Übergang eines Elektrons vom gebundenen Zustand in den freien Zustand erfordert eine deutliche Energiezufuhr. Bisher haben wir ausschließlich die thermische Aktivierung aufgrund der Temperatur im Kristall betrachtet. Eine kurze Überlegung führt uns dazu, dass dieser Generation (Erzeugung) von Elektron-Lochpaaren auch eine Vernichtung (Rekombination) im gleichen Ausmaß gegenüberstehen muss, um die Energiebilanz im Kristall aufrecht zu erhalten. Wäre dem nicht so, würde sich der Kristall sehr rasch abkühlen. Anders gesagt: Elektronen und Löcher existieren nur eine gewisse Zeit als freie Ladungsträger. Im thermischen Gleichgewicht werden – statistisch gesehen – stets gleich viele Elektron-Lochpaare neu gebildet wie rekombinieren. Der Fall, dass dem Kristall extern durch Lichtquanten Energie zur Elektron-Lochpaarbildung zugeführt wird, ist Ausgangspunkt für die folgenden Abschnitte.

Das Sonnenlicht als Teilchenstrom

Zur Beschreibung des Lichts mittels Photonen werden Teilchenflüsse betrachtet. Jedem Photon wird ein Energiebetrag, E_{photon} zugeordnet:

$$E_{\text{photon}} = h \cdot \nu \quad (3)$$

Das Plancksche Wirkungsquantum, h ist eine Konstante ($4,136 \times 10^{-15}$ eVs), ν , die Frequenz des Photons. Die gesamte Energie bei einer bestimmten Frequenz ν des Lichts ist die Anzahl der Photonen, N_{photon} , multipliziert mit der Photonenenergie aus Gleichung (3). Der Photonenfluss ist die Anzahl der Photonen pro Zeit. Die Photonenflussdichte, Φ_{photon} , ist der auf eine Fläche bezogene Photonenfluss und hat die Einheit $(1/\text{s})/\text{m}^2$. Die einfallende Energie pro Zeit und Fläche, I ergibt sich zu:

$$I = \Phi_{\text{photon}} \cdot E_{\text{photon}} \quad (4)$$

Unschwer ist zu erkennen, dass I die Einheit W/m^2 hat und nichts anderes als die Intensität des Lichtstrahls beschreibt. Die Darstellung des Lichts als Photonenflussdichte wird uns nachfolgend das Verständnis der Vorgänge in einer Solarzelle erheblich erleichtern.

In Abb. 1 ist das Sonnenspektrum auf der Erde dargestellt, so, wie wir es an einem sonnigen Tag um die Mittagszeit auf der Erde beobachten können. Die linke Grafik zeigt das bekannte Bild des Sonnenspektrums, wobei die Intensität für jede Wellenlänge als Funktion der Wellenlänge des einfallenden Lichts aufgetragen ist. Die Fläche unter der Kurve entspricht der gesamten eingestrahelten Intensität von $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Die rechte Grafik stellt denselben Sachverhalt aus quantenoptischer Perspektive dar: Die horizontale Achse ist in Energieeinheiten der Lichtquanten, E_{photon} , skaliert, die vertikale Achse skaliert die Photonenflussdichte, Φ_{photon} , pro Photonenenergie. Die Fläche unter dieser Kurve der rechten Grafik entspricht einer Gesamtanzahl der Photonen von $4,3 \times 10^{21} (1/\text{s})/\text{m}^2$. Zur leichteren Orientierung ist jener Bereich des Spektrums, der für das menschliche Auge wahrnehmbar ist, in beiden Darstellungen mit einem Farbband unterlegt.

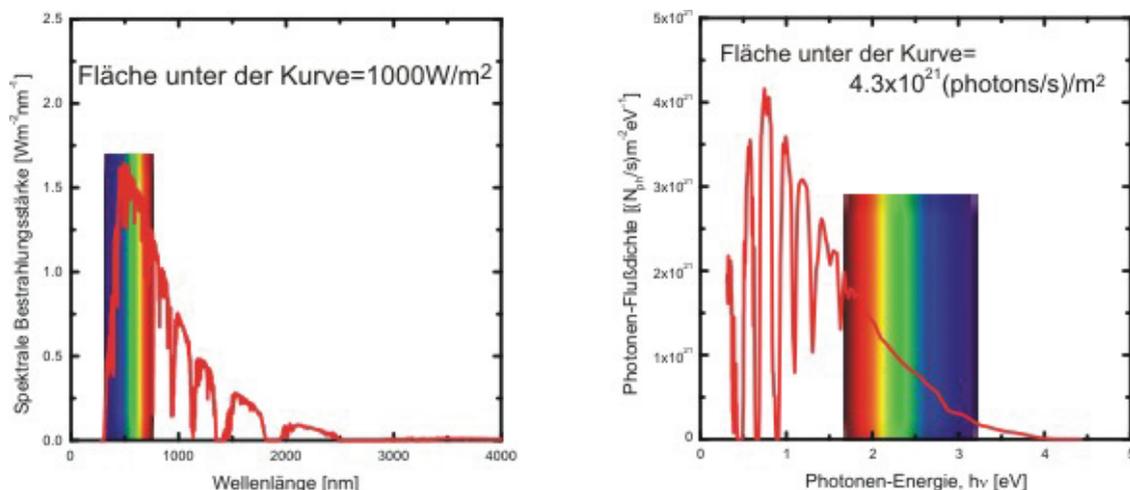


Abbildung 1: Die spektrale Verteilung des Sonnenlichts auf der Erde aus der Perspektive der Wellennatur (links) und der Perspektive der Teilchennatur (rechts) dargestellt.

Die Wechselwirkung zwischen Photonen und freien Ladungsträgern

Zur einfachen Beurteilung der Wechselwirkung zwischen Photonen und Halbleiter wird die spektrale Verteilung jedes Lichts strikt in zwei Bereiche getrennt:

1. Besitzt ein Photon eine Energie $h\nu$ die kleiner ist als die notwendige Aktivierungsenergie zur Elektron-Lochpaarbildung im Halbleiter, findet keine Wechselwirkung statt.
2. Ist die Photonenenergie mindestens gleich wie oder größer als die nötige Anregungsenergie, so wird genau ein Elektron-Lochpaar pro Photon generiert. Das Photon wird ausgelöscht.

Der Festkörper Silizium, sowohl in seiner kristallinen als auch in seiner amorphen Form, ist ein Halbleiter wie er in der Photovoltaik bevorzugt eingesetzt wird. Kristallines Silizium hat bei Raumtemperatur von etwa 20°C eine Bandlücke von 1,1 eV, amorphes Silizium eine Bandlücke von 1,7 eV. Kristallines Silizium dient nachfolgend als Beispiel.

Trifft ein Photon im Festkörper auf ein Valenzelektron und hat es eine hinreichend große Energie, so kann es ein Elektron-Lochpaar generieren. Eine $e^- - h^+$ Erzeugung findet auch dann statt, wenn die Energie des Photons größer als die Bandlücke ist. Ein Photon mit einer Energie von 2,5 eV generiert genau ein Elektron-Lochpaar. Dabei wird 1,1 eV zum Aufbrechen der Bindung im Siliziumkristall verwendet, die restlichen 1,4 eV beschleunigen das freigesetzte Elektron innerhalb des Leitungsbands. Diese zusätzliche kinetische Energie verliert es in den meisten Fällen durch Streuprozesse am Kristallgitter sehr rasch wieder.

Nur der Anteil der Energie, der für die optische Aktivierung erforderlich ist, kann für die Umwandlung in elektrische Energie genutzt werden. Im Beispiel also pro Elektron-Lochpaar 1,1 eV, unabhängig davon, ob das Photon eine größere Energie übertragen hat.

Nachdem das Photon seine Energie übertragen hat und ausgelöscht wurde, bleiben Leitungselektron und Loch eine Weile im angeregten Zustand. Ohne geeignete Vorkehrungen wird das Elektron danach wieder mit einem Loch rekombinieren. Die Energieerhaltung fordert, dass bei diesem Prozess eine Energieabgabe erfolgt. Diese kann, muss aber nicht, durch die Bildung eines Photons geschehen. Werden Photonen durch Rekombination erzeugt und abgestrahlt, spricht man von einer Lumineszenzstrahlung. Emittiert werden allerdings nur Photonen mit Energien, die dem Bandabstand des Halbleiters entsprechen. Es ist dies die Umkehrung des Vorgangs zur Freisetzung eines Valenzelektrons durch die Vernichtung eines Photons.

Sofern es möglich ist, den Rekombinationsprozess im Halbleiter zu verhindern, kann die Energie der, durch Photonen aktivierten Elektronen in einem externen Stromkreis nutzbar gemacht werden. Wie dabei vorzugehen ist, wird im nachfolgenden Abschnitt gezeigt.

Mit dem Sonnenlicht treffen jede Sekunde $4,3 \times 10^{21}$ Photonen pro Quadratmeter ein (siehe Abb. 1). Von der Gesamtanzahl muss jene Anzahl von Photonen abgezogen werden, deren Energie kleiner als die Bindungsenergie ist. Für kristallines Silizium mit einer Bandlücke von 1,1 eV entspricht das $1,6 \times 10^{21}$ (1/s)/m². Zieht man diesen Betrag von der Gesamtzahl ab, so bleiben $2,7 \times 10^{21}$ (1/s)/m² Photonen, die Valenzelektronen im Siliziumkristall freisetzen können. Gleichzeitig entsteht die gleiche Anzahl von Löchern. Auf einfache Weise kann grob abgeschätzt werden, welche elektrische Leistung eine Solarzelle aus kristallinem Silizium abgeben könnte, wenn sie dem Sonnenlicht mit 1000 W/m² ausgesetzt wird. Dazu muss lediglich die Photonenflussdichte von $2,7 \times 10^{21}$ (1/s)/m² mit 1,1 eV multipliziert werden und wir erhalten 475 W/m². Bezogen auf die eingestrahlte Leistung entspricht das einem Konversionswirkungsgrad von Strahlungs- zu elektrischer Leistung von 47,5 %. Experimentell wurde für kristallines Silizium ein maximaler Wirkungsgrad von $(25,6 \pm 0,5)$ % gefunden [6]. Das ist deutlich geringer als unsere vereinfachte Abschätzung erwarten lässt. Eine wesentlich detailreichere Abschätzung, die auch die elektrischen Verluste innerhalb der Solarzelle miteinbezieht, ergibt, dass der Wirkungsgrad einer Solarzelle aus kristallinem Silizium für natürliches Sonnenlicht bestenfalls ~ 30 % sein kann [7]. Dieser Wert liegt deutlich näher am experimentellen Ergebnis.

Obige Abschätzung basiert auf der Annahme eines bestimmten Sonnenlichtspektrums, wie es im Labor standardisiert ist, im Alltag aber äußerst selten vorkommt. Für andere Einstrahlungsbedingungen kann sich eine andere Bandlücke als geeigneter erweisen. Ein geeigneter Halbleiter wäre dann aus der nahezu unbeschränkten Anzahl von anorganischen und organischen Verbindungshalbleitern zu wählen.

Eine photovoltaische Zelle

Im nativen, homogenen Halbleiter steht der Erzeugung von Elektron-Lochpaaren durch Photonen eine ebenso große Rekombination gegenüber. Dieses Gleichgewicht ist in der statistischen Gleichverteilung des Elektronen- und Löchergases im gesamten Volumen begründet. Wenn wir beispielsweise eine Scheibe aus homogenem Silizium dem Sonnenlicht aussetzen, können wir noch keine elektrische Energie ernten. Wir benötigen dafür einen Mechanismus, der die vom Licht generierten Elektron-Lochpaare voneinander trennt, bevor sie rekombinieren können. Eine einfache Lösung mit Hilfe eines elektrischen Feldes drängt sich nahezu von selbst auf. Die Kraft F , die aufgrund eines elektrischen Feldes E auf mobile Ladungsträger wirkt, ist:

$$\vec{F} = \pm q \cdot \vec{E} \quad (5)$$

In Gl. 5 sind F und E als vektorielle Größen definiert. Für die resultierenden Driftgeschwindigkeiten der mobilen Ladungsträger v_n und v_p ergeben sich entgegengesetzte Richtungen je nach der Polarität der beschleunigten Ladung:

$$\begin{aligned}\vec{v}_n &= -\mu_n \cdot \vec{E} \\ \vec{v}_p &= +\mu_p \cdot \vec{E}\end{aligned}\quad (6a,b)$$

Aus dieser einfachen Idee leitet sich für uns die Frage ab: „Wie kann ein elektrisches Feld in einem Halbleiter verankert werden?“

Wir wissen bereits, dass die Substitution einer geringen Anzahl von Atomen des Halbleiters durch Dotieratome zur Bildung von ortsfesten Ionen führt. Zum Aufbau des elektrischen Feldes benötigen wir einander gegenüberstehende Ionen entgegengesetzter Polarität.

Anhand des Herstellungsablaufs einer Solarzelle aus amorphem Silizium, a-Si, wird die technische Realisierung eines internen elektrischen Feldes nachfolgend beispielhaft beschrieben: Ausgangspunkt ist eine Glasplatte, die als Träger (Substrat) für die abzuschneidende aktive Halbleiterschicht dient. In einer Reaktorkammer wird aus siliziumhaltigem Gas, Silan (SiH_4), dem in einer geringen Menge auch Bor zugefügt wird, eine sehr dünne Schicht aus bordotiertem a-Si abgeschieden. Ohne den Wachstumsvorgang der a-Si Schicht zu unterbrechen, wird die Borzugabe im Gas gestoppt. Als Resultat wird nachfolgend eine etwa $1 \mu\text{m}$ dicke undotierte Schicht abgeschieden (intrinsisch). Abschließend wird während des fortgesetzten Schichtwachstums dem Silan Phosphor beigemischt. Kurz darauf wird der Abscheidungsprozess beendet. Innerhalb des lokal unterschiedlich dotierten Halbleiters bildet sich, hervorgerufen durch die ionisierten Bor- und Phosphoratome, ein elektrisches Feld aus. Da der undotierte Halbleiter ein sehr schlechter elektrischer Leiter ist, ähnelt er weit eher einem Isolator (Dielektrikum). Die erzielte Halbleiterstruktur ist daher mit einem Plattenkondensator nahezu ident. In Abb. 2 ist der Querschnitt der Solarzelle links und zum Vergleich ein Plattenkondensator (rechts) schematisch dargestellt. Nicht gezeigt ist in der Abbildung das Glassubstrat. Auch die notwendigen elektrischen Kontakte an Vorder- und Rückseite der Halbleiterschicht sind nicht eingezeichnet.

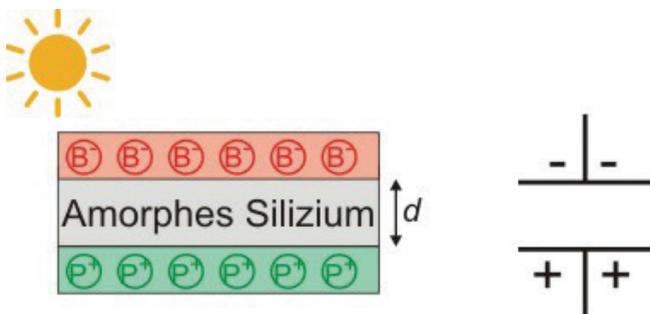


Abbildung 2: Schematischer Querschnitt durch eine p-i-n Solarzelle aus amorphem Silizium (links), Symbol eines Plattenkondensators (rechts)

Um auf die durch Licht im Halbleiter freigesetzten Ladungsträger eine möglichst große Kraft ausüben zu können, soll das elektrische Feld hoch sein. In der Praxis hat sich für die Dicke der intrinsischen Schicht d , etwa $1 \mu\text{m}$ ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{m}$)

bewährt. Dabei erzielt man ein internes elektrisches Feld von $\sim 1000 \text{ kV/m}$. Für $d = 1 \mu\text{m}$ ergibt sich damit eine Potentialdifferenz von $\sim 1 \text{ V}$. Ein Volt ist jene Spannung, die wir dann bestenfalls an der Solarzelle messen können. Tatsächlich konnte für diesen Zellaufbau eine Leerlaufspannung von $0,96 \text{ V}$ nachgewiesen werden [8]. Die Schichtdicken der beiden dotierten Bereiche ist wesentlich geringer ($\sim 0,1 \mu\text{m}$). Das bedeutet, dass die einfallenden Photonen überwiegend im intrinsischen Bereich Elektron-Lochpaare generieren. Die Ladungsträger werden aufgrund des elektrischen Feldes ihrer Polarität entsprechend entgegengesetzt beschleunigt (in Abb. 2 in vertikaler Richtung). Dabei verbleibt das Elektron im angeregten Zustand, weil eine Rekombination mit einem Loch unterbunden wird. Dadurch verhindern wir, dass durch Rekombination die vorzeitige Energieabgabe innerhalb des Halbleiters stattfindet. Mit dem Elektron wird auch dessen Aktivierungsenergie zum unteren Rand der Struktur geleitet und kann durch Anbringen von Metallkontakten an den beiden Außenflächen wenigstens teilweise an einen äußeren Stromkreis übertragen werden.

Realisierung im Unterricht

Wird Photovoltaik ausgehend von der oben beschriebenen p-i-n-Solarzelle rekonstruiert, so kann leicht verständlich gemacht werden, weshalb sich die freien Ladungsträger zu den verschiedenen Kontakten der Solarzelle bewegen, ohne dabei auf die Materialeigenschaften von Halbleitern und die mit dem Dotierungsprozess verbundenen Prozesse der Ladungsdiffusion eingehen zu müssen. Die Erklärung der Existenz eines elektrischen Feldes im Innern der Solarzelle erfolgt direkt aus dem spezifischen Aufbau der Zelle. Im Unterricht müssen daher nur mehr folgende „Key Ideas“ vermittelt werden:

- Die Strahlungsenergie der Sonne kann mit Hilfe von Photovoltaik-Anlagen in elektrische Energie umgewandelt werden.
- Das Funktionsprinzip der Solarzelle beruht zum einen auf dem Photoeffekt und zum anderen auf dem photovoltaischen Effekt
- Beim Photoeffekt werden Elektronen durch Photonen aus ihren Bindungen gelöst. Isolatoren werden dadurch zu Leitern.
- Beim photovoltaischen Effekt werden die freien Elektronen in einem elektrischen Feld beschleunigt, um sie für die elektrische Energieversorgung nutzbar zu machen.

Im Rahmen des Projekts SOLARbrunn – mit der Sonne in die Zukunft [9] – wurde basierend auf diesen Überlegungen eine entsprechende Unterrichtssequenz zur Photovoltaik entwickelt und mittlerweile sowohl in der Ober- als auch in der Unterstufe erprobt. Für die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen von Solarzellen wurde ein Infoblatt „Elektrische Energie aus Licht“ (finden Sie auf der Plus Lucis Homepage.) entwickelt. Mit

dessen Hilfe erarbeiten die Lernenden weitgehend selbständig Aufbau, Eigenschaften und Funktionsweise einer Solarzelle. Im Anschluss daran versuchen sie gemeinsam mit einer Mitschülerin oder einem Mitschüler das Funktionsprinzip einer Solarzelle mit eigenen Worten zu erläutern und diesen Prozess im Arbeitsblatt „Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie“ (Finden Sie auf der Plus Lucis Homepage.) schriftlich und bildlich festzuhalten. Zum Abschluss werden mit der gesamten Klasse die Ergebnisse besprochen und auf etwaige Verständnisschwierigkeiten eingegangen [10].

Die gesamte Lernumgebung zur Photovoltaik finden Sie auf der Website <https://www.univie.ac.at/solarbrunn/>. Neben den Materialien zur theoretischen Erarbeitung von Photovoltaik werden dort auch Experimente vorgestellt, um die Rolle verschiedener Umweltfaktoren im Hinblick auf die Optimierung der elektrischen Leistungsabgabe einer Solarzelle

zu untersuchen. Diese Experimentierphase ist dabei als forschend-entdeckender Unterricht unter dem Einsatz von gestuften Lernhilfen zur Unterstützung angelegt und soll die Schülerinnen und Schüler die Probleme wissenschaftlichen Arbeitens erfahren lassen (Bedeutung einer angemessenen Fragestellung als Ausgangspunkt eines naturwissenschaftlichen Experiments, Rolle der Parametervariation und -kontrolle, Notwendigkeit der Messplanung und Dokumentation im Sinne der Nachvollziehbarkeit der Untersuchung und Einsatz von Kreativität im Forschungsprozess zur individuellen Lösungsfindung und zur Generierung des Experimentiersettings). Den Abschluss bildet eine Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Photovoltaik für nachhaltiger Bereitstellung von Energie.

Viktor Schlosser *Universität Wien, Fakultät für Physik*

Ilse Bartosch *Universität Wien, Fakultät für Physik*

Literatur

- [1] E. Becquerel, Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. in *Comptes Rendus*. 1839. 9: p. 561–567.
- [2] Vanguard 1, <https://www.nasa.gov/content/vanguard-satellite-1958>
- [3] Einstein, A., Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. in *Annalen der Physik*. 1905. 322, 6, 132.
- [4] siehe dazu z. B. <https://www2.pvlighthouse.com.au/resources/courses/altermatt/The%20PV%20Principle/The%20first%20solar%20cells.aspx>
- [5] Drude, P. Zur Elektronentheorie der Metalle. online abrufbar unter <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/andp.19003060312>
- [6] Green, M. A., et. al. Solar cell efficiency tables (version 48). *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 2016, 24: doi: 10.1002/pip.2788
- [7] Shockley, W. and H. J. Queisser, Detailed Balance Limit of Efficiency of pn Junction Solar Cells. in *J. Appl. Phys.* 1961. 32, 510: doi: 10.1063/1.1736034
- [8] Guha, S., et. al., Enhancement of open circuit voltage in high efficiency amorphous silicon alloy solar cells. in *Appl. Phys. Lett.* 1986. 49, 218: doi: 10.1063/1.97176
- [9] Das Projekt wurde im Rahmen des Programms Sparkling Science, gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2014–2017 durchgeführt
- [10] König, S., Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zum Thema Photovoltaik für die AHS Unterstufe. 2018, Diplomarbeit: Universität Wien.

Kinder- und Jugendsachbücher zum Thema „Klimawandel“

Christian Nosko

Ein Eisbär klammert sich an einer schmelzenden Eisscholle fest; eine Frau kauert mit ihren zwei kleinen Kindern im ausgetrockneten Flussbett; Feuerwehrleute, die gegen Buschbrände kämpfen: Drei von unzähligen Bildern, die bei der Suche nach dem Wort „Klimawandel“ im Browser erscheinen. Kinder damit zu schockieren und auf eine Verhaltensänderung zu hoffen, ist wenig sinnvoll, sagen Expert*innen. Mittlerweile gibt es zahlreiche didaktisch gut aufbereitete Materialien, die in der Schule eingesetzt werden können. Der Buchhandel bietet zu dem Thema eine in den letzten Jahren stark gestiegene Anzahl an Kinder- und Jugendsachbüchern an – Bücher, die für die Freizeit gut geeignet sind, aber auch im Unterricht ihre Berechtigung haben, wie sich zeigen lässt.

1. Das Sachbuch im Unterricht

Bis heute ist es nicht gelungen, eine allgemeingültige Definition des Begriffs „Sachbuch“ zu entwickeln [1, 2]. Daher soll hier auf die Definition von Fürst et al. [3, S. 178] zurückgegriffen werden: „Ein Kindersachbuch informiert seine Leser*innen] über Fakten, Erkenntnisse oder Zusammenhänge aus den verschiedensten Wissensgebieten durch kindgerechte Formen (Illustrationen, Text- und Buchgestaltung)“. Das Jugendsachbuch soll Leser*innen ab zwölf Jahren ansprechen. Gemeinsam ist den meisten Autor*innen, dass sie bei Kinder- und Jugendsachbüchern zwischen einem sachlich-informierenden und einem erlebnishaft gestalteten Ansatz, meist mit einer Identifikationsfigur, unterscheiden. Darüber hinaus erfolgt stets eine Abgrenzung zum Lehr- und Fachbuch.

Prinzipiell ist das Sachbuch nicht für den Unterricht konzipiert, sondern ist ein Buch für die Freizeit. Deshalb folgt es immer einer bestimmten Didaktik und Methodik, damit Kinder und Jugendliche es auch ohne Lehrer*innen verstehen können. Dennoch hat der Einsatz von Kinder- und Jugendsachbüchern im Unterricht durchaus seine Berechtigung, etwa im Rahmen von offenen oder handlungsorientierten Lernformen, von Projekten oder auch zur Differenzierung und Individualisierung. Sachbücher eignen sich dabei besonders für einen „Einstieg in ein Sachthema, zur Motivation, zur Sammlung bisheriger Erfahrungen und bisherigen Wissens, zum Aufzeigen neuer Fragestellungen“ [3, S. 179]. Dabei ist nicht nur die Rezeption der Sachbücher, sondern auch eine Analyse, Bewertung oder ein Vergleich mit anderen Medien denkbar [2, S. 382].

Wer jetzt nur lexikalisch aufgemachte Sachbücher für Kinder und Jugendliche vor Augen hat, die althergebrachte Themen trocken darstellen, irrt gewaltig. Es steigt nicht nur die Zahl der

Neuerscheinungen – es werden auch komplexe Themenbereiche wie Scheidung, Tod, Flucht und Umweltthemen behandelt. Eine praxistaugliche Typisierung von Kinder- und Jugendsachbüchern haben Ossowski und Ossowski [2, S. 377] entwickelt und unterscheiden dabei Bildersachbuch, Sachbilderbuch, Erzählsachbuch, Sacherzählbuch, Werkbuch und Informationsbuch. Diese Typisierung soll im Folgenden als Systematik für die Darstellung einzelner Bücher zum Thema „Klimawandel“ genutzt werden. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass die Typisierung nach Ossowski und Ossowski nicht immer schlüssig ist und die Übergänge gleitend sind, wodurch auch eine andere Zuordnung der vorgestellten Bücher möglich ist [4, S. 90].

2. Das Bildersachbuch

In Bildersachbüchern wird die erfahrbare kindliche Umwelt nur in Bildern ohne Text dargestellt. Da die Themen der Bildersachbücher vor allem Tiere und den Kinderalltag fokussieren, konnte kein eindeutiger Vertreter dieses Typus gefunden werden. Ein Buch passt dennoch in diese Gruppe, nämlich „Rettet die Erde! 11 Ideen, das Klima zu verbessern“ [5]. Pro Doppelseite wird eine Idee thematisiert, wobei jeweils ein kurzer Satz in das Bild gedruckt wurde. Durch Umlappen der Folie, die wie eine Buchseite zwischen der Doppelseite angebracht wurde, erhält das Bild einen anderen Sinn. So ist beispielsweise auf der Doppelseite „Haltet die Umwelt sauber“, ein Kind zu sehen, das im Meer zwischen Fischen und PET-Flaschen taucht, nach Umlappen der Folie taucht das Kind nur mehr zwischen Fischen, und die Kinder auf der anderen Seite werfen die PET-Flaschen in den Mistkübel.

3. Das Sachbilderbuch

In Sachbilderbüchern werden Gegenstände und Gegebenheiten aus der Umwelt der Kinder mithilfe von Bildern und Text dargestellt. „Die Klimaschweine“ [6] ist ein sehr anschauliches Beispiel für diesen Typus. Im Pinguinland ist es so warm, dass nicht nur so manche Eisscholle, sondern auch das Himbeereis schneller schmilzt. Der Pinguinprofessor erklärt den Pinguinen den Grund: Die Schweine verursachen so viele Treibhausgase, dass es immer wärmer wird. Die Darstellung des Schweinlands ist treffend gelungen – Mobilität, Ernährung und Urlaub werden originell und unmissverständlich angesprochen: „Die Schweineeltern führen ihre Kinder in Monstertrucks zur Schule, einige sogar direkt bis in den Klassenraum“ [6, S. 6]. Daher machen sich die Pinguine auf ins Schweinland, um mit den Schweinen zu sprechen. Auch wenn den Pinguinen vorerst

niemand Gehör schenkt, so wissen sie dennoch: „Aber wir dürfen nicht aufgeben, sie können uns nicht ewig ignorieren“ [6, S. 20]. Als den Schweinen das Wasser bereits bis zum Hals steht, streiten die einen, die anderen – vor allem junge Schweine – hören den Pinguinen zu. In acht Bildern zeigt der Pinguinprofessor, was die Schweine tun könnten, um weniger Treibhausgase zu produzieren.

4. Das Erzählsachbuch

Bei Erzählsachbüchern „steht die Sache selbst im Mittelpunkt und wird mit erzählerischen Mitteln dargestellt“ [2, S. 377]. Das Buch „Klimahelden. Von Goldsammlerinnen und Meeresputzern“ [7] ist ein Vertreter des Typus Erzählsachbuch. Der Autorin gelingt es unter anderem, die Themen Nachhaltigkeit, Lebensmittel, Mikroplastik und Mobilität für Kinder von neun bis zwölf Jahren ansprechend aufzubereiten. Dazu schildert sie anschaulich eine bestimmte Situation und stellt das Problem dar. Schott bleibt dabei nicht bei den verheerenden Folgen stehen, sondern erzählt von Kindern und Jugendlichen auf der Welt, die sich „für ein besseres Klima und eine gesunde Umwelt einsetzen“ [7, S. 5]. So erfahren wir von Isabel und Melati auf Bali, Oskar und Matilde in Norwegen oder Liam in Deutschland, von dem in Zusammenhang mit dem Thema Fahrradfahren erzählt wird: „Fahrradfahrer sind Klimahelden, sonst gäbe es in diesem Buch kein Extrakapitel zum Radfahren“ [7, S. 47]. Warum das so ist, wird in Folge kindgerecht anhand der Entstehung von Treibhausgasen und den Konsequenzen der Erderwärmung erklärt.

5. Das Sacherzählbuch

Sacherzählbücher befassen sich im Rahmen einer Erzählung mit einer Sache. Darüber hinaus finden sich im Anhang des Buches oft weiterführende Informationen [2, S. 377]. Im Vergleich zum Erzählsachbuch tritt hier die Handlung in den Vordergrund. Ein schönes Beispiel für diesen Typus ist „Die KlimaGang“ [8]. Die vier Freunde Ali Aal, Biggi Biene, Eisbär Finn und Kitty Kiebitz sind die Held*innen des Buches. Sie sitzen unter der Brücke und ärgern sich darüber, wie sehr das Wasser verdreckt ist, wie selten gute Nistplätze für Vögel wurden, wie wenige Blumen es gibt und wie sehr das Eis in Grönland schmilzt. „Wir müssten unsere Probleme den Menschen mal erklären [...] Damit sie verstehen, was sie falsch machen, und ein bisschen vorsichtiger mit der Erde umgehen. Aber auf uns werden sie wohl kaum hören“ [8, S. 10], meint Kitty Kiebitz. Bei der Überlegung, wer ihnen helfen könnte, kommt die Autorin Laura Dahlmeier, eine ehemalige deutsche Biathletin, selbst ins Spiel: Die KlimaGang will sich an Kinder wenden, um das Klima zu retten. Dank der Freunde von Laura werden die fünf zu einer Fernsehsendung in Berlin eingeladen. Am Weg dorthin erleben die Freunde zahlreiche Abenteuer, lernen Aspekte des Klimawandels kennen und kommen schlussendlich zu spät zu ihrem Termin. Dennoch war die Reise nicht umsonst, wie Eisbär Finn gegen Ende des Buches

meint. Er hat Notizen von der Reise gemacht, die als Buch für Kinder veröffentlicht werden sollen.

6. Das Werkbuch

Werkbücher wollen nach Ossowski und Ossowski [2, S. 377] Anleitungen für beispielsweise den Umgang mit Technik und Natur sowie für Kunstbetrachtungen geben. Dazu gehören auch sämtliche Anleitungs-, Spiel- und Experimentierbücher. Das Buch „100 Dinge, die Du für die Erde tun kannst“ [9] ist ein Vertreter des Typus Werkbuch. Selbst wenn es die Widmung „FÜR COOLE KIDS“ trägt, so ist es durchaus auch für Erwachsene geeignet. Ohne Rahmenhandlung, lange Einleitung oder ein Schlusswort werden, wie der Titel verspricht, 100 Dinge vorgestellt. Dabei spannt sich der Bogen von „1: Unsere Welt“ bis „100: Verschenke das Buch an deine Familie und deine Freunde.“ In diesen „100 Dingen“ stecken unter anderem die Themen Mülltrennung, Müllvermeidung, Einwegbatterien, Lärmschutz, Tier- und Pflanzenschutz, Nachhaltigkeit sowie Mobilität. Dabei handelt es sich um Ideen, Tipps oder einfach nur Informationen. Auf einer Doppelseite wird jedes dieser „100 Dinge“ kurz und prägnant, aber dennoch gut lesbar vorgestellt, mit Bildern versehen und mit Hintergrundwissen sowie Querverbindungen angereichert.

7. Das Informationssachbuch

Der sechste und letzte Typus ist das Informationssachbuch, das Wissen zu bestimmten Themen durch Sachtexte, Bilder, Grafiken, Tabellen oder Diagramme vermittelt. Einer der „Klassiker“ dieses Genres ist die seit über 60 Jahren erscheinende Kinder- und Jugendsachbuchreihe „WAS IST WAS“ des Tessloff Verlags. Mittlerweile gibt es „WAS IST WAS Kindergarten“ für Kinder ab drei Jahren, „WAS IST WAS Junior“ für Kinder von vier bis sieben Jahren und „WAS IST WAS“ für Kinder ab acht Jahren. Oft werden diese Bücher auch als Sachbilderbücher bezeichnet. Die einzelnen Bände befassen sich mit Themen aus den Bereichen Natur & Tiere, Geschichte, Wissenschaft, Technik und Sport & Freizeit. Band 125 trägt den Titel „Klima. Eiszeiten und Klimawandel“ [10]. In bewährter Tradition und Aufmachung wird hier Wissen vermittelt, wobei auch an Merkkästchen erinnernde Elemente sowie „Angeberwissen“ zu finden sind. Mittlerweile gibt es dazu auch digitale Ergänzungen, u. a. auf der Website des Verlags, in Form eines digitalen Hörstifts, Hörspiele und Videos.

8. Fazit

Durch die Orientierung an der Typisierung von Ossowski und Ossowski [2, S. 377] konnte gezeigt werden, welches Kaleidoskop an unterschiedlichen Kinder- und Jugendsachbüchern zum Thema „Klimawandel“ besteht. Die in Text und Form unterschiedlich gestalteten Sachbücher, die auch im Unterricht Einsatz finden können, konfrontieren Kinder und Jugendliche mit dem Thema, sensibilisieren und vermitteln Hintergrundwissen. Doch dabei bleibt es meist nicht – viele

der Bücher machen Mut, Dinge zu verändern. Wie meint der Pinguinprofessor in „Die Klimaschweine“ [6, S. 30] ganz richtig: „Alte Gewohnheiten zu verändern, ist sehr unangenehm. Aber jeder Einzelne von euch kann etwas tun!“

Literatur

- [1] Schmideler, S., Zur Sache mit dem Sachbuch in der Kinder- und Jugendliteratur der DDR. in S. Schmideler (Hrsg.), Wissensvermittlung in der Kinder- und Jugendliteratur der DDR. Themen, Formen, Strukturen, Illustrationen. 2017: V & R unipress. p. 27-40.
- [2] Ossowski, E. und H. Ossowski, Sachbücher für Kinder und Jugendliche. in G. Lange (Hrsg.), Kinder- und Jugendliteratur der Gegenwart. Ein Handbuch (2., korrigierte und ergänzte Auflage). 2012: Schneider Verlag Hohengehren. p. 364-388.
- [3] Fürst, I., E. Helbig, und V. Schmitt, Kinder- und Jugendliteratur. Theorie und Praxis (4. Auflage). 2018: Bildungsverlag EINS.
- [4] Grubert, R., Das Sachbilderbuch – Konzepte, Typen, Trends. in A. Rußegger, und T. Waldner (Hrsg.), Wie im Bilderbuch: Zur Aktualität eines Medienphänomens. 2016: Studien Verlag. p. 88-103.
- [5] George, P., Rettet die Erde! 11 Ideen, das Klima zu verbessern. 2020: Moritz Verlag.
- [6] Neuhaus, J. und T. Penzek, Die Klimaschweine. 2020: kunstanstifter.
- [7] Schott, H., Klimahelden. Von Goldsammlerinnen und Meeresputzern. 2019: Neufeld Verlag.
- [8] Dahlmeier, L. und C. Linker, Die KlimaGang: Laura Dahlmeier & Freunde im Einsatz für die Natur. 2019: J.P. Bachem Editionen.
- [9] Eck, J., 100 Dinge, die Du für die Erde tun kannst. Nachhaltig handeln - Mitmach-Tipps - Natur und Umwelt. 2019: Schwager & Steinlein Verlag.
- [10] Baur, M., WAS IST WAS Band 125. Klima. Eiszeiten und Klimawandel. 2019: Tessloff Verlag.

Dr. Christian Nosko *Kirchliche Pädagogische Hochschule Wien/Krems und Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie, Universität Wien*

Bild der Wissenschaft

Karin Hain

„Uran ist nicht gleich Uran: Je nachdem, ob die Freisetzung des chemischen Elements durch die zivile nukleare Industrie oder als Fallout von Atomwaffentests erfolgt, variiert das Verhältnis der beiden anthropogenen Uranisotope ^{233}U und ^{236}U . Zu diesem Ergebnis kam ein internationales Team rund um Karin Hain (im Bild mit Master-Student M. Kern) und ihren Kolleg*innen des VERA-Labors an der Universität Wien [1]. Ihre Erkenntnis bildet einen vielversprechenden neuen 'Fingerabdruck' zur Identifizierung von radioaktiven Emissionsquellen und eignet sich auch ausgezeichnet als Umweltindikator in Meeresströmungen, wie in der Publikation in Nature Communications [2] dargestellt wird.“

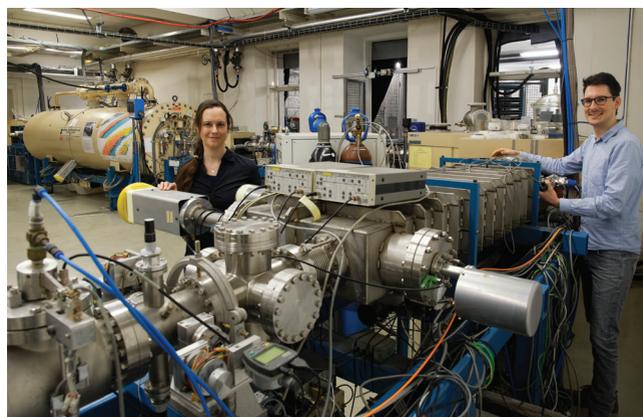


Abbildung: Die Bildrechte liegen bei © M. Martschin Universität Wien

Karin Hain *Universität Wien, Fakultät für Physik, Isotopenphysik*

Literatur

- [1] https://physik.univie.ac.at/news/news-detailansicht/news/atomarer-fingerabdruck-identifiziert-emissionsquellen-von-uran/?cHash=6062eeb6843a9e0eed4b84faecd3b790&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News
- [2] Hain, K., Steier, P., Froehlich, M.B. et al. $^{233}\text{U}/^{236}\text{U}$ signature allows to distinguish environmental emissions of civil nuclear industry from weapons fallout. Nat Commun 11, 1275 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15008-2>



Neues aus dem Verein

Neue Mitorganisator*innen für die Fortbildungswoche

Das Organisationsteam der Plus Lucis Fortbildungswoche wird durch zwei neue KollegInnen unterstützt. Louisa Morris ist Lehrerin für Physik und Philosophie und Psychologie am GRg 23. Florian Budimaier unterrichtet Physik und Geschichte am G 19. Sie sind seit Anfang September als mitverwendete Lehrpersonen am AECC Physik beschäftigt.

Herzlich Willkommen!

Rubrik von Leo Ludick

Wie ihnen vielleicht aufgefallen ist, fehlt in diesem Heft die Rubrik von Leo Ludick. Dies liegt nicht daran, dass Kollege Ludick etwa aufgehört hätte uns kurze, informative und spannende Texte zu schicken. Es liegt an dem profanen Grund, dass das vorliegende Heft prall gefüllt ist und wir leider keinen Platz mehr gefunden haben. Ich muss Sie liebe Leser*Innen auf das nächste Heft vertrösten. Dort finden Sie dann auch den Text mit dem Titel: „Was bringt uns Grundlagenforschung?“

Ausschreibung des 5. Werner Rentzsch Fotowettbewerb

Wie schon in den vergangenen Jahren wird auch heuer wieder der Fotowettbewerb des Vereins stattfinden. Wir suchen das schönste Foto eines selbstaushausprobieren Experiments! Auf der Homepage (www.pluslucis.org) finden sich alle Informationen zum Ablauf und den Teilnahmebedingungen, sowie die Gewinnerfotos der letzten Jahre als Inspiration.

Wir freuen uns auf viele spannende Fotos und wünschen viel Freude beim Experimentieren und Fotografieren.



Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S

Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
DVR 0558567
VRN 668472729