

Klima und Klimawandel

Hintergrundwissen von Fachleuten erklärt

Klassenstufe:	7–13
Thema:	Fachwissen/Hintergrundwissen zum Klimawandel
Material:	Links zu Berichten und Videos

In den in diesem Artikel zusammengestellten Links kommen Klimaforscher:innen selbst zu Wort. Nicht nur Sie können so Einblicke in die Grundlagen und Perspektiven der Klimaforschung erhalten, sondern Sie können die verschiedenen Berichte, Vorträge und Videos auch als Lernangebote für Ihre Schülerinnen und Schüler nutzen. Die Quellen beinhalten Vorträge, aber auch Simulationen und Selbsttests zur eigenen „climate literacy“. Sie verweisen überwiegend auf wissenschaftliche oder wissenschaftsnahe Seiten, dennoch können wir natürlich nicht garantieren, dass diese auch in Zukunft in dieser Weise bestehen bleiben. Ein eigenes Prüfen bleibt daher notwendig, aber wir hoffen, dass wir Ihre Suche auf diese Weise ein wenig erleichtern können!

Differenzierung auf den Punkt gebracht

Differenzierung nach:

- Interessen, Vorwissen
- Lerntempo

Fördermöglichkeiten:

- Variieren von Inhalten und Lerntempo

Praxistipps:

- Variation der Inhalte durch Bereitstellung unterschiedlicher Links
- Variation des Lerntempos durch Abspielen unterschiedlicher Teilabschnitte des Videos

Treibhauseffekt und Klimawandel – welches Wissen ist bekannt und wichtig?

Ist der Treibhauseffekt ein neues und von Menschen gemachtes Phänomen? Zum Glück nicht, denn hätten wir gar keinen sogenannten Treibhauseffekt auf der Erde, dann wäre es hier so kalt, dass menschliches Leben und vieles andere kaum denkbar wäre. Wenn in den Medien vom Treibhauseffekt die Rede ist, dann ist jedoch selten dieser gemeint – dann geht es vielmehr um die sehr wohl von Menschen verursachte Verstärkung eines Prozesses mit möglichen Szenarien für dramatische Konsequenzen.

Zugrunde liegt dem Treibhauseffekt ein komplexes Gefüge aus Wechselwirkungen zwischen Energie und Materie, insbesondere zwischen Molekülen der Erdatmosphäre und Strahlung, die zunächst von der Sonne und dann auch von der Erdoberfläche auf diese Moleküle trifft. Damit verbunden sind folglich verschiedene Umwandlungsprozesse und Stoffkreisläufe, die zudem nicht nur lokal, sondern global und über extrem große Zeiträume bedeutsam sind.

Welche Auswirkungen Eingriffe in ein derart komplexes System haben, lässt sich mittels Messungen, Rekonstruktionen vergangener Bedingungen und modellbasierten Simulationen zu zukünftig möglichen Entwicklungen darstellen, natürlich verbunden mit Toleranzbereichen und Varianten in Abhängigkeit von zugrunde gelegten Annahmen z. B. über gesellschaftliche Entwicklungen.

All das kann kaum in einem Unterrichtsfach allein behandelt werden, muss aber dennoch zu einem verpflichtenden Thema schulischer und außerschulischer Bildungsprozesse werden, um Jugendliche in die Lage zu versetzen, Aussagen zu bewerten

(und wissenschaftlich fundierte von populistischen zu unterscheiden) und eigene Entscheidungen bewusst zu treffen. Ein Engagement bei *Fridays for Future* ist ein klares Zeichen dafür, dass die derzeitige Klimaentwicklung Jugendlichen nicht gleichgültig ist. Eine nachhaltige Entwicklung gesellschaftlicher Energie-, Mobilitäts-, Bau-, Ernährungs- und weiterer Strategien erfordert aber mehr: Entscheidungen müssen auf Basis einer sachlichen Abwägung von Befunden und Argumenten getroffen werden, individuell wie politisch. Ingenieur:innen, Naturwissenschaftler:innen und Handwerker:innen müssen Technologien entwickeln und umsetzen. Lehrkräfte müssen Basiskonzepte und Methoden ihrer Fächer mit Themen der globalen Herausforderung und Verantwortung verbinden. Dazu braucht es Bereitschaften für entsprechende Aus- und Weiterbildungen sowie Studiengänge, die durch aufmerksam machende, motivierende und Teilhabe ermöglichende Zugänge unterstützt werden sollen; dies ist u. a. Ziel dieses Themenheftes.

Fachliche Grundlagen aus erster Hand erklärt

Für die Erklärung des Phänomens „anthropogener Treibhauseffekt“ als Hauptverursacher des menschlich verursachten Klimawandels finden sich zahlreiche Informationen sowohl in Berichtsform als auch in Form von Videos.

Beispiele für Berichte:

- https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2021/03/20210809_weltklimabericht-klimawandel-verstaerkt-wetter-und-klimaextreme.html
 - <https://www.ipcc.ch/>
- Die Videos stammen entweder von

offiziellen Stellen, aus Lexika, von Bildungsservern oder bekannten YouTube-Kanälen.

Beispiele für Videos:

- offizielle Stellen: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-funktioniert-der-treibhauseffekt>
- Lexika: <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>
- Bildungsserver: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhauseffekt>
- YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=FvjbhiLLmPk>;
- <https://www.youtube.com/watch?v=oJ1zm65u-ck> – Achtung, hier oft mit Werbung!).

Von besonderem Interesse sind für den Unterricht natürlich Vorträge oder Materialien von Klimafor-schenden selbst! Der Klimawandel ist ein extrem wichtiges Thema für die Forschung (Abb. 1), aber auch für die Wissenschaftskommunikation. Einer der wohl bekanntesten Klima-Kommunikatoren ist Prof. Mojib Latif vom Helmholtz-Zentrum Geomar in Kiel (<https://www.geomar.de/mlatif>). Er erklärt den Klimawandel und zeigt anhand von Befunden Konsequenzen auf, egal ob für ein wissenschaftliches, jugendliches, öffentliches oder in Bildungskontexten tätiges Publikum, wie zuletzt in der Ringvorlesung „Aus der Forschung in die Bildung“ für Lehrkräfte und Lehramtsstudierende.

Die im Folgenden zusammengestellten Links bieten einen direkten Zugang zu verschiedenen Vorträgen von Mojib Latif für unterschiedliche Adressatengruppen:

- KinderUni: <https://science-surfers.com/warum-ist-es-auf-der-erde-so-schoen-warm/>
 - Universität Wien: <https://www.youtube.com/watch?v=VQqOysatzg0>
 - Students for Future: <https://www.youtube.com/watch?v=VL-IScflN8>
- Vorträge bieten jedoch ebenso wie ein Artikel nur einen „konsumierenden“ Zugang. Wer mehr erarbeiten möchte, kann z. B. Onlinekurse nutzen, etwa des Deutschen Klimakonsortiums:
- <https://www.deutsches-klimakonsortium.de/de/bildung.html>



© Foto: polarmay/Shutterstock.com

1 | Wissenschaftliches Forschungsschiff in der Antarktis

- <https://www.deutsches-klimakonsortium.de/de/bildung/klimavorlesung-auf-deutsch.html>
- <https://www.telekom-stiftung.de/aktivitaeten/qapito-quellen-kritisch-beurteilen>

Darauf aufbauend lassen sich auch gezielt Methoden der Erkenntnisgewinnung modellhaft explorieren, bspw.:

- Fragebogen zum Selbsttest: <https://kcvcs.ca/details.html?key=climateQuestionnaire>
- Visualisierungen: <https://kcvcs.ca/details.html?key=visualizingGlobalClimateChange>
- Modelle und Simulation: <http://mscm.dkrz.de/>

Mit Blick auf Kommunikationskompetenz sind natürlich auch Angebote nutzbar, die *Fake News* unter die Lupe nehmen. Leider gibt es gerade im Bereich Klimawandel einige Quellen, die nur scheinbar vertrauensvoll sind – eine exemplarische Auseinandersetzung damit findet sich hier:

- <https://www.quarks.de/podcast/quarks-science-cops-der-fall-eike-so-dreist-tricksen-klimawandel-verharmloser/>
- <https://www.politische-bildung.nrw.de/digitale-medien/digitale-demokratiekompetenz/fake-news-erkennen>
- <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/umgang-mit-desinformation/falschmeldungen-erkennen-1750146>
- <https://www.planet-wissen.de/>

Fazit

Wir hoffen, damit und mit den weiteren Beiträgen dieses Themenheftes Anregungen zu bieten, die es ermöglichen, dass jede Schülerin und jeder Schüler in ihrem und seinem Chemieunterricht das Thema Klimawandel und Treibhauseffekt kennenlernt, so wie es viele Chemielehrkräfte bereits umsetzen.

Weitere Informationen finden Sie natürlich auch in den anderen Beiträgen dieses Heftes. So bieten etwa die Beiträge von Parchmann und Toczowski et al. Anregungen zur experimentellen Erschließung von Grundlagen des Klimasystems und Klimawandels. Priert und Menthe zeigen Einstellungen von Jugendlichen auf, Pfeifer et al. gehen auf die aktuellen Klimabewegungen und deren Chancen auch für den Chemieunterricht ein. Die Diskussion in den sozialen Medien werden von Wegner und Coautor:innen analysiert, und Menthe et al. sowie Garrecht und Sievers bieten Anregungen unter der Brille der Bewertungskompetenz. Wir hoffen, dass für alle Leserinnen und Leser Passendes dabei ist!

Treibhausgase im Chemieunterricht

Rückblick auf mehr als 25 Jahre Fachdidaktik zum Thema Treibhauseffekt mit Anregungen für eine experimentelle Erarbeitung im Unterricht

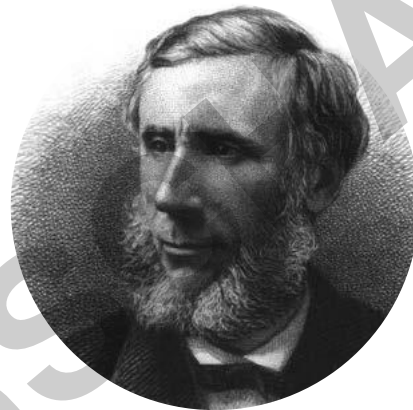
Klassenstufe:	Sek. I/Sek. II
Thema:	Wärmeabsorption durch CO ₂ und Treibhauseffekt
Methode:	Experimente



Material 1 und **2** stehen zum Download zur Verfügung (s. S. 1 in diesem Heft)

Mit *Fridays for Future* ist der Klimawandel in den Fokus der Jugendlichen und (zurück) in die Aufmerksamkeit der Medien gekommen. Diese von einer jungen Schwedin begonnene Protestinitiative hat dahingehend unter Jugendlichen vielleicht mehr bewirkt als die ebenso engagierte Forschung und Wissenschaftskommunikation von Expert:innen und auch als ausgezeichnete Projekte in verschiedenen Unterrichtsfächern sowie außerschulischen Lernorten. Eine Protestbewegung allein löst jedoch die dahinterliegenden Probleme nicht, dazu bedarf es einer breiten Verständnisbasis (im Sinne einer *sci-*

entific literacy oder spezieller *climate literacy* [1], <https://www.climate-literacy.eu/de/>; <https://www.climate.gov/teaching/climate>; <https://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/projekte/clif-climate-literacy-in-focus>) – diese kann und sollte Unterricht neben anderem aufbauen.



1 | John Tyndall

heiten sowohl für die Sekundarstufe I als auch die Oberstufe. Einen möglichen Zugang bietet das Thema Verbrennungsreaktionen bereits früh im Chemieunterricht, einen weiteren die Thematik Treibstoffe im Rahmen der Einführung in die organische Chemie und einen dritten – u. a. in Chemie im Kontext gut erschlossenen – das Chemische Gleichgewicht im Kontext Ozean und Klima. Der Einstieg kann entweder über Pressemeldungen oder auch über Bilder zum Klimawandel erfolgen. Die Aufmerksamkeit von Jugendlichen auf dieses Thema zu lenken, ist sicher kein Problem. Die Frage der weiteren Bearbeitung hängt wie immer von den konkreten Bildungszielen und dem verfügbaren zeitlichen Umfang ab. Eine Behandlung (allein) im Fachunterricht ist sicher eher in Auszügen möglich, während ein Projekt über verschiedene Fächer, im Wahlpflichtbereich oder auch in Schulprogrammen wie dem FREI-Day (<https://frei-day.org/der-frei-day-ander-max-planck-schule/>) dagegen ein eigenes, forschendes Erarbeiten mit anschließender Präsentation erlaubt. Nachfolgend wird ausgehend von der Frage, weshalb und wie Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas wirkt, auf den Kohlenstoffkreislauf und die natürlichen ebenso wie die anthropogenen Quellen des Treibhauseffektes und des damit verbundenen Klimawandels eingegangen. Denkbar sind sowohl historische als auch kontextbasierte Zugänge, und angesprochen werden neben dem Fachwissen auch alle weiteren Kompetenzbereiche des Chemieunterrichts. Die Experimente sind mit einfachen Möglichkeiten selbst zu bauen, auch dies kann durch die Schüler:innen ausgehend etwa von der ersten historischen Apparatur John Tyndalls erfolgen.

Für den Chemieunterricht ist der Treibhauseffekt ein eigentlich gut erschlossenes Unterrichtsthema (u. a. [2]–[6]), dennoch begegnen wohl viele Schüler:innen eher im Fach Geografie oder auch im Physikunterricht diesem global wichtigen Inhalt. Dieser Beitrag gibt für diejenigen, die das Thema noch nicht fest in ihrem eigenen Curriculum etabliert haben, einen Überblick über verschiedene didaktische Beiträge und Zugänge mit Blick auf alle vier Kompetenzbereiche des Chemieunterrichts.

Die folgenden Ausführungen basieren im Kern auf früheren Arbeiten insbesondere aus der Chemiedidaktik der Universität Oldenburg (publiziert in [3] und [8]). Erprobt wurden diese u. a. im Rahmen von Unterrichts-

Differenzierung auf den Punkt gebracht

D

Differenzierung nach:

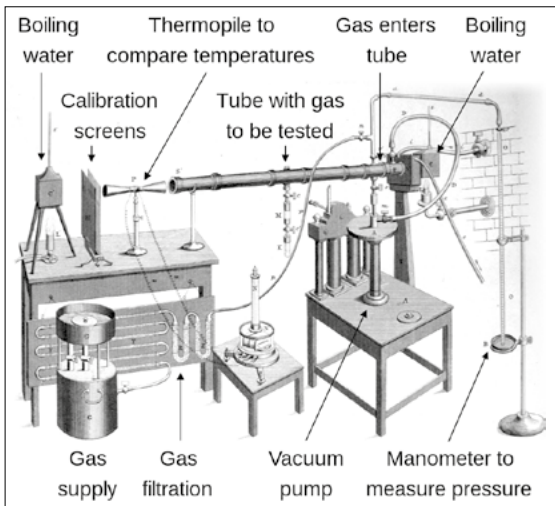
- Interessen/Motivation
- Fachlicher Tiefe

Fördermöglichkeiten:

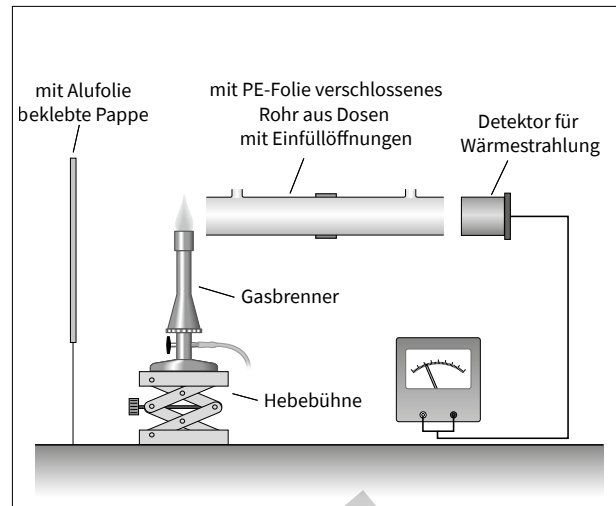
- Arbeitsteilige Gruppenarbeit
- Basis- und Vertiefungsaufgaben zu allen Themenbereichen

Praxistipps:

Leistungsstarke Schüler:innen können die Absorption von Wärmestrahlung durch Kohlenstoffdioxid mit der räumlichen Struktur des CO₂-Moleküls in Zusammenhang bringen.



© Bild: Alamy Stock Foto

2a | Messapparatur von John Tyndall zur Untersuchung der Wärmeabsorption verschiedener Gase


© Zeichnung: Sabrina Zimmermann

2b | Einfacher Nachbau der Messapparatur von John Tyndall

Klimawandel und Treibhauseffekt im Chemieunterricht

Methoden der Erkenntnisgewinnung

Kann man den Treibhauseffekt nachweisen und zeigen? Natürlich kann man nicht einfach mit einem Thermometer auf den Schulhof gehen und den Klimawandel messen. Die Wirkung von verschiedenen Bestandteilen der Atmosphäre auf Wärmestrahlung ist aber sehr wohl experimentell untersuchbar! Dies haben schon früh Wissenschaftler getan, die man eigentlich eher von anderen Themen her kennt: John Tyndall (**Abb. 1**) und Svante Arrhenius etwa untersuchten die Durchlässigkeit verschiedener Gase für Wärmestrahlung. Gerade die (zusammengestellten und im Text durch Kohlenstoffdioxid ergänzten) Ausführungen von John Tyndall beschreiben die Wirkung von so genannten Treibhausgasen sehr anschaulich:

„Ueberhaupt würde die Wärme von der Erdoberfläche ähnlich wie von den Dampfmassen in grossen Höhen leicht entweichen können, wären der Wasserdampf [und das Kohlendioxid] aus der Luft über der Erde entfernt. [...]“

„Die Wärmewellen eilen von unserer Erde durch die Atmosphäre nach dem Weltenraum. Diese Wellen stoßen auf ihrem Wege gegen die Moleküle des Sauerstoffs und Stickstoffs und gegen die Moleküle des Wasserdampfs [und Koh-

lendioxids]. Wir könnten kaum glauben, dass, so dünn zerstreut, wie diese letzteren sind, sie dennoch als Schranken gegen die Wärmewellen dienen. [...] Vor drei oder vier Jahren fand indess der Redner, dass diese kleinen Mengen Wasserdampf [und Kohlendioxid] eine 20mal grössere Wärmemenge auffing, als von der ganzen Luft, in der er vertheilt war, aufgehalten wurde. [...]“

Der Wasserdampf [und das Kohlendioxid] sind eine Decke, die dem Pflanzenleben Englands nothwendiger ist, als die Kleidung dem Menschen.“

(zitiert nach [3], Originalquelle als Basis des Zitats zu finden in: <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10707581?>; S. 490, 498, 500)

Wie kam Tyndall zu solchen Überlegungen? Er hat experimentiert!

Abbildung 2 zeigt im Vergleich die Messapparatur von Tyndall (**Abb. 2a**) und einen einfachen Nachbau mithilfe von Schul- bzw. Haushaltsmaterialien (**Abb. 2b**).

In der Abbildung der Apparatur Tyndalls ist ebenso wie im vereinfachten schulischen Nachbau eine Wärmequelle vorhanden (z. B. eine Brennerflamme oder eine berußte Heizplatte). Diese Wärmestrahlen werden durch ein Rohr geleitet (z. B. eine Blechdose), das mit verschiedenen Gasen gefüllt werden kann (die Öffnungen sind in der Schulapparatur mit Haushaltsfolie verschlossen). Am einen Ende des Rohres befindet

sich der Gasbrenner, am anderen ein Detektor für Wärmestrahlen (in der Schulapparatur ein Thermoelement, das auf einer schwarzen Pappe befestigt ist). Auf diese einfache Weise kann die Durchlässigkeit verschiedener Gase für Wärmestrahlung im Verhältnis zueinander untersucht werden. Eine wissenschaftliche IR-Messung ermöglicht dies natürlich genauer, etwa mit Blick auf die jeweiligen Absorptionsbereiche (**Abb. 2b**, S. 16).

Wie lassen sich die Überlegungen unterrichtlich umsetzen?

Nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion können bspw. ange-regt durch die Darstellung der Apparatur von Tyndall zunächst Vorstellungen der Lernenden zu potenziellen Ergebnissen der Untersuchung erfasst werden (etwa im Sinne eines POE – predict – observe – explain – Vorgehens). Eigene Erfahrungen zeigten in unterrichtlichen Erprobungen, dass die Annahme „Kohlenstoffdioxid führt zu einem Temperaturanstieg“ hier zunächst zu falschen Erwartungen führen kann, die bei genauerer Betrachtung des experimentellen Aufbaus leicht revidiert werden können: Wenn Kohlenstoffdioxid im Rohr Wärmestrahlung absorbiert, gelangt weniger Energie an den Detektor und die Temperatur steigt weniger stark an als bei Gasen, die keine Wärmestrahlung absorbieren. Wechselt sich Gas bzw.

So eine große Wirkung hat so wenig Kohlenstoffdioxid

Tweets zum CO₂-Gehalt fachlich bewerten lernen

Klassenstufe:	ab Klasse 10
Thema:	Einfluss von Kohlenstoffdioxid auf den Klimawandel
Lernziel:	Bewertung von Aussagen zum Klimawandel aus fachlicher Sicht
Material:	Tweets aus sozialen Medien
Kompetenzbereiche:	Kommunikation und Bewertung

Material 1 bis 5 steht zum Download zur Verfügung (s. S. 1 in diesem Heft)

Kohlenstoffdioxid-Emissionen gelten als Hauptverursacher des Treibhauseffektes und somit des Klimawandels. Diese Tatsache wird in bestimmten

Differenzierung auf den Punkt gebracht

Differenzierung nach:

- Vorstellungen über den Klimawandel und seine chemischen Grundlagen
- Repräsentationskompetenzen

Fördermöglichkeiten:

- Gruppenpuzzle: Schüler:innen erhalten die Möglichkeit, ihre Vorstellungen zu den fachlichen Grundlagen des Klimawandels frei zu äußern und in der Expert:innenphase fachlich weiterzuentwickeln.
- Strukturierungshilfen („Scaffolds“) in Form der comicartigen Wissenschaftler:innen leiten die Schüler:innen durch die Diagramme

Praxistipp:

Bilden Sie bei der Gruppeneinteilung leistungsheterogene Expert:innengruppen. So wird die Chance erhöht, Vorstellungen zu korrigieren und Wissenslücken zu schließen.

Kreisen jedoch geleugnet und entsprechende Aussagen anhand vermeintlich wissenschaftlicher Grafiken belegt.

In diesem Beitrag beschreiben wir eine Unterrichtsstunde (Tab. 1) zur Bewertung von Aussagen zum Einfluss von Kohlenstoffdioxid auf den Klimawandel. Dazu haben wir Behauptungen aus sozialen Medien zusammengestellt. Die getroffenen Aussagen sollen aus fachlicher Perspektive bewertet werden. Die Materialien eignen sich für eine Chemiestunde ab Klasse 9 und ermöglichen es, den chemiespezifischen Anteil einer Klimabildung im Chemieunterricht weiter zu vertiefen. Mit der Kontextualisierung in Form von Tweets und der Entnahme von relevanten Informationen aus Diagrammen und Tabellen werden die Kommunikations- und Bewertungskompetenz im hoch aktuellen und lebensweltlich bedeutsamen Themenfeld der sozialen Medien gefördert.

Soziale Medien als Informationsquellen

Soziale Medien wie WhatsApp, Instagram, YouTube oder Twitter sind fester Bestandteil des Lebensalltags der meisten Schüler:innen. Darin tauschen sich die Schüler:innen nicht nur privat aus; vielmehr sind diese Medien Träger verschiedener Informationen – auch für kontrovers diskutierte naturwissenschaftliche Themen wie den Klimawandel. Durch Posten, Bloggen, Kommentieren oder Hochladen erzeugen und veröffentlichen die Nutzer:innen neue Inhalte und verbreiten sie so auf der jeweiligen Plattform [1].

Auf sozialen Medien können sich Schüler:innen durchaus mit fachlich adäquaten Informationen (siehe z. B. YouTube-Kanal der WDR-Sendung Quarks) zu naturwissenschaftlichen Themen wie dem Klimawandel vertraut machen. Gleichzeitig werden sie jedoch auch mit Informationen und Behauptungen konfrontiert, die lücken-, fehlerhaft oder verzerrt sein können. Besonders herausfordernd für die Gewinnung fachlich adäquater Informationen ist, dass die Direktheit sozialer Medien keine Korrektur von Behauptungen im Kontext der Naturwissenschaften vorsieht. Dies bleibt den Nutzer:innen selbst überlassen.

Informationen aus sozialen Medien bewerten: Vertrauens- und Plausibilitätsurteile

Um sich in sozialen Medien adäquat bewegen zu können, ist es für die Schüler:innen essenziell, Informationen nicht ungefiltert wahrzunehmen und zu übernehmen. Vielmehr sollten sie angeleitet werden, zum einen die Glaubwürdigkeit und die Verlässlichkeit der Information wie auch die Intentionen der Quelle zu bewerten und zum anderen vor allem die fachliche Richtigkeit der Information beurteilen zu können. Beide Fokuse entsprechen der Plausibilitäts- oder Vertrauensstrategie nach [2]. Während bei der Vertrauensstrategie die Frage „Wem kann man glauben?“ im Mittelpunkt steht, rückt bei der Plausibilitätsstrategie die Frage „Was ist wahr?“ und für den Chemieunterricht „Was ist fachlich korrekt?“ in den Mittelpunkt.

Den Plausibilitäts- und Vertrauensstrategien entsprechend formulieren die kürzlich veröffentlichten Bildungsstandards für die Sekundar-

Phase	Geplante Aktivität der Lehrkraft: Die Lehrkraft ...	Geplante und antizipierte Lernaktivitäten der Lernenden: Die Lernenden ...	Sozialform	Materialien / Medien
Motivationsphase / Einstieg	... steuert die Abfrage zur Nutzung von Sozialen Medien. ... präsentiert Tweets zum Klimawandel.	... beschreiben ihr Social-Media-Verhalten, ihre Erfahrungen/Begegnungen mit Beiträgen zum Klimawandel. ... nennen die Kernaussagen der Tweets. ... nehmen in einer Blitzlichtumfrage (Meinungsbarometer) Stellung zur „fachlichen Richtigkeit“/ fachlichen Fundierung der Kernaussagen. ... begründen ihre Entscheidungen. ... leiten für den weiteren Unterrichtsverlauf Fragen ab: – Welche Bedeutung hat das (natürliche bzw. anthropogen verursachte) Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre für die globale Erwärmung? – Was sind Klimagase?/ Welches Gas ist das stärkste Klimagas?	UG	Abfrage ggf. Meinungsstrahl oder Umfrage-Tool, Tweets (Material 1)
Erarbeitungsphase	... unterstützt die Lernenden, klärt Fragen und steuert den Lernprozess.	... werten die Materialien arbeitsteilig aus: – beschreiben den natürlichen Treibhauseffekt und erklären anhand der Molekülstrukturen der Treibhausgase deren Wirkung auf die mittlere Temperatur der Atmosphäre. – erstellen ein Fließschema und erklären daran Wasserdampf-Rückkopplungseffekte.	Gruppenpuzzle (Experten-gruppen)	Arbeitsmaterial (Material 2 bis Material 5)
Ergebnissicherung, Tranfer	... beantwortet Fragen und leitet die Präsentation/ Diskussion.	... tauschen sich über die Ergebnisse aus und beantworten Fragen. ... bewerten die Tweets erneut. ... nehmen in einem fachlich fundierten Tweet Stellung zu den Tweets von präsentieren ihre Tweets.	Gruppenpuzzle (Stammgruppen) UG	Abfrage-Tool, Präsentationsmedium (für Tweet)

Verwendete Abkürzungen: AB: Arbeitsblatt, UG: Unterrichtsgespräch, GA: Gruppenarbeit, PA: Partner:innenarbeit

Tab. 1 | Darstellung des geplanten Unterrichtsverlaufs (Einzelstunde)

stufe II im Bereich Kommunikation Standards wie die Schüler:innen „prüfen die Übereinstimmung verschiedener Quellen oder Darstellungsformen im Hinblick auf deren Aussagen“ (K3) oder die Schüler:innen „überprüfen die Vertrauenswürdigkeit verwendeter Quellen und Medien (z. B. anhand ihrer Herkunft und Qualität)“ (K4; KMK, 2020 S. 17).

Behauptungen über den Klimawandel können im Chemieunterricht aber insbesondere auch aus einer chemisch-fachinhaltlichen Sicht fundiert überprüft werden (Plausibilitätsstrategie). Das Potenzial des Chemieunterrichts besteht damit gerade darin, sowohl die Plausibilitäts- als auch die Vertrauensstrategie zu entwickeln.

Überlegungen zum Unterricht

Stundenziele und curriculare Verankerung

Ausgangspunkt der Stunde bilden Tweets, in denen Personen behaupten, dass der Volumenanteil von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre so gering sei, dass der anthropogene Beitrag zum Klimawandel zu vernachlässigen wäre (s. **Material 1**). Zudem sei das in der Atmosphäre vorkommende gasförmige Wasser das viel stärker wirksame Treibhausgas.

Um alle Schüler:innen zu aktivieren, werden die Schüler:innen aufgefordert, zu den Aussagen vor dem Hintergrund ihres bisherigen Vorwissen

seiner Stellung zu beziehen. Mit ihrem Vorwissen aus der aktuellen Klimadiskussion, die sich oftmals auf Maßnahmen der CO₂-Reduzierung konzentriert, werden die Schüler:innen voraussichtlich sehr unterschiedliche und im Wesentlichen wenig fachlich fundierte Begründungen über den inhaltlichen Wahrheitsgehalt treffen können. Sie erhalten daraufhin Materialien, in denen sie ihr Fachwissen über den Zusammenhang von Kohlenstoffdioxid, Wasser und Temperaturerhöhung der Atmosphäre vertiefen. Dabei erlernen sie zu beschreiben, dass Wasser einen größeren Anteil der Infrarotstrahlung als Kohlenstoffdioxid absorbiert und damit in der Tat ein wirksames Treibhausgas ist.

Material 1

KOHLSTOFFDIOXID UND KLIMAWANDEL

Tweets zum Klimawandel

Reduktion Transmitted by the Atmosphere

Tweet

Ein Tweet von 'Reduktion Transmitted by the Atmosphere' zeigt ein Diagramm zur 'Reduktion Transmitted by the Atmosphere'. Das Diagramm zeigt die Intensität der kurzwelligeren Sonnenstrahlung (rot) und der langwelligeren Wärmestrahlung (blau) in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die kurzwellige Strahlung wird fast vollständig durch die Atmosphäre durchgelassen, während die langwellige Strahlung fast vollständig absorbiert wird.

Material 2

KOHLSTOFFDIOXID UND KLIMAWANDEL

Wie kann man erklären, dass bestimmte Gase zur Klimaerwärmung beitragen und andere nicht

Der natürliche Treibhauseffekt sorgt dafür, dass auf unserem Planeten Temperaturen herrschen, die uns das Leben ermöglichen. Ohne ihn gäbe es weder flüssiges Wasser noch komplexes Leben auf der Erde, denn die mittlere Oberflächentemperatur der Erde läge bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dieser natürliche Treibhauseffekt entsteht durch die in unserer Atmosphäre befindlichen Gase, die auch als „Treibhausgase“ bezeichnet werden. Zu den wichtigsten Gasen zählen dabei Wasserdampf (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffdioxid (N_2O). Aber wie genau bewirken diese Gase den Treibhauseffekt?

Treibhausgase haben die Eigenschaft, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, z.B. UV-Strahlung, durch die Atmosphäre passieren zu lassen. Langwellige, von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärmestrahlung (z.B. IR-Strahlung) nehmen sie jedoch auf (Absorption). Ein Teil der IR-Strahlen wird von den Treibhausgasen auch wieder in Richtung der Erdoberfläche zurückgestrahlt (Reflexion).

Moleküle wie die der Stoffe Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) tragen unterschiedliche Teilladungen („Dipole“) in sich. Diese Dipole führen dazu, dass Energie in Form von Infrarotstrahlen (IR-Strahlen) absorbiert wird. Dabei fangen die Atome der Moleküle an zu schwingen. Sie wandeln die Energie der Infrarotstrahlung in **Bewegungsenergie der Atome um**. Die Kohlenstoffdioxid- und Wassermoleküle schwingen aber nicht auf Dauer. Sie wandeln die Bewegungsenergie ihrer Atome wieder in IR-Strahlung um. Die IR-Strahlung wird von den Molekülen in alle Richtungen abgegeben. Ein Teil geht in das Weltall, aber ein Teil wird wieder auf die Erde zurückgestrahlt.

Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle werden nicht von der Wärmestrahlung zu Schwingungen angeregt. Die beiden Moleküle sind symmetrisch und aus den gleichen Atomen aufgebaut und können z.B. keine Deformationsschwingungen ausführen.

Arbeitsaufträge

1. Beschreibe, was man unter dem natürlichen Treibhauseffekt versteht.
2. Erläutere anhand der Molekülstrukturen, wie die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid und Wasser eine Erwärmung der Atmosphäre bewirken.

<http://www.chemie.de/lexikon/irstrahlung>

Sie beschreiben weiterhin, dass ein Rückkopplungseffekt, d.h. ein Zusammenhang zwischen dem Volumenanteil von Wasser in der Atmosphäre und dem Anteil von Kohlenstoffdioxid existiert (vgl. **Kasten 1** und **2**). Vertieft wird dieses Wissen durch die Erkenntnis, dass Gase, die aus drei Atomen zusammengesetzt sind, insbesondere klimaaktiv sind (ggf. Möglichkeit der Differenzierung für leistungsstärkere Schüler:innen).

Auf der Ebene der prozessorientierten Kompetenzen im Bereich „Kommunikation“ werden Teilkompetenzen der Entnahme und des Vergleichs von Informationen aus Tabellen und Diagrammen gefördert, wie sie in den Curricula zahlreicher Bundesländer hinterlegt sind, z. B. Kerncurriculum Niedersachsen [3]: Die Schüler:innen „wählen themenbezogene und aussagekräftige Informationen aus“ oder „beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte mit den passenden Modellen unter Anwendung der Fachsprache“. Oder aus dem Rahmenlehrplan Berlin (S. 22) „Dia-

gramme mit zwei Variablen beschreiben und aus ihnen Daten entnehmen“, „aus Diagrammen Trends ableiten, grafische Darstellungen erläutern“ und „die Aussagekraft von Darstellungen bewerten und hinterfragen“.

Lernvoraussetzungen und Einbettung in den Unterrichtsverlauf

Wichtige Lernvoraussetzung für den Einsatz sämtlicher Materialien ist, dass die Schüler:innen bereits über eine differenzierte Teilchenvorstellung verfügen, die es ihnen erlaubt, die atomaren oder vor allem molekularen Bestandteile von Gasen auf der Teilchenebene zu erklären. Um die Wechselwirkungen der Moleküle mit der Infrarotstrahlung zu verstehen, sollte den Schüler:innen das Konzept des Dipols bekannt sein. Fachwissen aus typischen Unterrichtseinheiten des Chemieanfangsunterrichts, wie z. B. „Luft als Gasgemisch“, ist weiterhin hilfreich.

Dargestellt am Rahmenlehrplan Berlin (S. 33) sollten die Schüler:innen idealerweise die unsichtbaren Be-

standteile der Luft sowie weiterer „technisch, chemisch und physiologisch bedeutsamer Gase beschreiben“ können, den Aufbau „der molekularen Gase mithilfe der Elektronenpaarbindung“ erklären und ausgewählte Nachweise von Gasen anwenden können. Die Schüler:innen sollten weiterhin die „Bestandteile der Luft, Eigenschaften, Verwendung und Nachweismethoden von Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid sowie die Atombindung/Elektronenpaarbindung/Oktettregel“ kennen.

Stundenverlauf

Im Stundeneinstieg werden die Schüler:innen mit verschiedenen Tweets konfrontiert, die die Bedeutung des Kohlenstoffdioxids auf den Klimawandel, mit Verweis auf den geringen Volumenanteil in der Luft, als gering darstellen (**Material 1**). Vor dem Hintergrund des aktuellen Lernstands der Schüler:innen (die Volumenanteile von Kohlenstoffdioxid sind aus