

Weiterentwicklung der Bildungsstandards in der Sekundarstufe I in den Naturwissenschaften

Illustrierende Lernaufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Treibhauseffekt

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklungsgruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik Physik beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Zusammenfassung:

Die Lernenden sollen vor allem für das Thema „anthropogener Treibhauseffekt“ sensibilisiert werden. Dabei lernen sie anhand von einigen Beispielen, wie die Gesellschaft in der Vergangenheit mit wissenschaftlichen Erkenntnissen, die Umwelt und Gesundheit betreffen, umgegangen ist. Die Lernenden charakterisieren das Handlungsmuster, das sich aus den vorliegenden Beispielen auch auf den Klimawandel übertragen lässt. Darüber hinaus eignen sie sich Sachkenntnisse über die physikalischen Grundlagen des Treibhauseffektes an, welche sie als Belege für eigene Argumente verwenden können. Außerdem führen sie einen Versuch durch, welcher die Erhöhung der von Luft absorbierten Wärmestrahlung durch Hinzugabe von CO₂ demonstriert. Die Temperatur wird dabei digital erfasst und ausgewertet. Durch den Versuch sollen die Argumente der Klimaphysik für die Lernenden greifbar gemacht werden.

Kompetenzbereiche und relevante Standards	<p>Sachkompetenz</p> <p><i>Die Lernenden ...</i></p> <p>S 2.1 bauen einfache Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen.</p> <p>Erkenntnisgewinnungskompetenz</p> <p><i>Die Lernenden ...</i></p> <p>E 3.1 werten in Experimenten gewonnene oder recherchierte Daten auch mithilfe von digitalen Hilfsmitteln aus, identifizieren Zusammenhänge und erklären diese mithilfe bekannter Modelle (z. B. Denkmodelle, grafische Darstellungen, mathematische Gleichungen).</p>
--	---

1 Aufgabe

Teilaufgabe 1: Wissenschaftliche Erkenntnisse und menschliches Handeln

1.1 Immer wieder haben wissenschaftliche Erkenntnisse dabei geholfen, Gefahren für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen zu identifizieren. In den fünf Infotexten (Material 1) sind Beispiele dafür beschrieben. Teilt euch zunächst in Gruppen zu je fünf Personen auf. Teilt dann die fünf Texte unter euch so auf, dass jede Person einen anderen Text bearbeitet. Fasst sie in Einzelarbeit jeweils in Stichworten zusammen. Orientiert euch dabei an den Leitfragen:

- Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?
- Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?
- Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?
- Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Stellt danach euer Beispiel der Gruppe in einem Kurzvortrag vor. Nehmt dabei eure Stichworte zu Hilfe.

1.2 Beratet euch in der Gruppe, bei welchen Infotexten insbesondere physikalische Erkenntnisse eine Rolle spielen. Zieht ein gemeinsames Fazit, welche politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen die Erkenntnisse jeweils hatten. Charakterisiert dabei das menschliche Handeln in den Beispielen in Bezug auf Entschlossenheit und Solidarität.

1.3 Unter einem Beitrag auf einer sozialen Plattform mit dem Titel „Heißester Sommer seit 2000 Jahren!“ findet ihr folgende Kommentare:

- "Die Temperaturen schwanken seit Jahrhunderten, das ist völlig normal. Diese Hysterie ist lächerlich."
- "Ich erinnere mich an die Sommer in den 80ern, die waren genauso heiß. Nichts Neues hier!"
- "Die Konzentration von CO₂ in der Luft beträgt lediglich 0,04 %. Das ist viel zu wenig, um irgendeine Auswirkung auf die globale Temperatur zu haben."
- "Diese sogenannten Wissenschaftler werden doch alle von der Regierung bezahlt. Glaubst nicht alles, was ihr lest."

Formuliert jeweils in wenigen Sätzen eine Antwort und nutzt, wenn möglich, wissenschaftliche Argumente (Material 1) als Belege.

Teilaufgabe 2: Experiment zum Treibhauseffekt

Bereits im 19. Jahrhundert hat Tyndall entdeckt, dass CO_2 ein Treibhausgas ist. Deine Aufgabe ist es nun, diese Tatsache experimentell zu belegen!

- 2.1 Baut zunächst den Versuch nach Anleitung (Material 2) auf und führt ihn durch.
- 2.2 Erstellt mithilfe eines geeigneten Tools oder Tabellenkalkulationsprogrammes ein Diagramm aus euren Messdaten (Temperatur auf der Ordinate, Zeit auf der Abszisse). Unterteilt den Messverlauf in sinnvolle Zeitabschnitte. Tragt die Zeitangaben in die Tabelle (Material 2) ein und klebt die Verlaufskarten (Material 3) an richtiger Stelle ein.

2 Material für Lernende

Material 1

Infotexte

1. Die Radium Girls

Die gesundheitsschädliche Wirkung von Radium wurde in den 1920er Jahren in den USA entdeckt, als zahlreiche junge Frauen, die in Uhrenfabriken arbeiteten, schwerwiegende gesundheitliche Probleme entwickelten. Diese Arbeiterinnen bemalten Zifferblätter von Uhren und Flugzeuginstrumenten mit radiumhaltiger Farbe, die im Dunkeln glühte. Um die Pinselspitzen zu formen und präzise arbeiten zu können, wurde den Frauen beigebracht, die Pinsel mit den Lippen zu befeuchten, wodurch sie kleine Mengen Radium verschluckten.

Im Laufe der Zeit begannen viele dieser Frauen, unter schwerwiegenden gesundheitlichen Beschwerden zu leiden. Symptome wie Zahnverlust, Kiefernekrosen, Anämie und Knochenschwund traten häufig auf und einige Frauen starben an den Folgen der Radiumvergiftung. Zunächst wurde die Ursache dieser Erkrankungen nicht erkannt, doch nach und nach stellten Ärztinnen und Ärzte sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Verbindung zwischen der Arbeit mit Radium und den gesundheitlichen Problemen her.

Der gesellschaftliche und politische Umgang mit dieser Katastrophe war von Widerständen und Interessenkonflikten geprägt. Die Unternehmen, die Radium verwendeten, insbesondere die U.S. Radium Corporation, leugneten zunächst vehement jede Verbindung zwischen Radium und den gesundheitlichen Problemen der Arbeiterinnen. Sie führten eigene, fehlerhafte Studien durch, um zu beweisen, dass Radium sicher sei, und versuchten, die betroffenen Frauen und ihre Beschwerden zu diskreditieren. Einige damalige Ärzte, die von den Unternehmen bezahlt wurden, unterstützten diese falschen Behauptungen und verschleierten die Wahrheit.

Gleichzeitig kämpften die betroffenen Frauen um Anerkennung und Gerechtigkeit. Sie organisierten sich, suchten rechtlichen Beistand und reichten schließlich mehrere Klagen gegen die Unternehmen ein. Diese Fälle erregten großes öffentliches Interesse und führten zu einer wachsenden Empörung über die Misshandlung der Arbeiterinnen. Die Medien spielten eine wesentliche Rolle, indem sie die Geschichten der Radium Girls verbreiteten und das Ausmaß des Skandals aufdeckten. Journalistinnen und Journalisten sowie Aktivistinnen und Aktivisten setzten sich dafür ein, die Öffentlichkeit über die Gefahren von Radium aufzuklären und die Verantwortlichen zur Rechenschaft zu ziehen.

Im gesellschaftlichen Diskurs standen sich verschiedene Interessengruppen gegenüber. Auf der einen Seite waren die Unternehmen und ihre Verbündeten, die wirtschaftliche Interessen verfolgten und versuchten, strengere Regulierungen zu verhindern. Auf der anderen Seite standen die Arbeiterinnen, ihre Familien, Anwältinnen und Anwälte, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Aktivistinnen und Aktivisten, die für den Schutz der Gesundheit und der Sicherheit der Arbeiterinnen kämpften. Diese Auseinandersetzung führte zu einem verstärkten Bewusstsein für Arbeitsschutz und für die Notwendigkeit, gefährliche Arbeitsbedingungen zu regulieren.

Politisch führte der Skandal schließlich zu bedeutenden Veränderungen. Die Aufmerksamkeit und der Druck der Öffentlichkeit zwangen die Regierung, Maßnahmen zu ergreifen. In den späten 1920er und frühen 1930er Jahren wurden neue Arbeitsschutzgesetze verabschiedet, die den Umgang mit gefährlichen Materialien wie Radium streng regulierten. Die U.S. Radium Corporation und andere Unternehmen wurden gezwungen, ihre Praktiken zu ändern und sicherere Arbeitsbedingungen zu schaffen. Zudem wurden Entschädigungszahlungen an die betroffenen Frauen geleistet, wenn auch oft erst nach langwierigen juristischen Kämpfen.

2. Rauchen gefährdet die Gesundheit

Die gesundheitsschädliche Wirkung des Rauchens wurde im Laufe des 20. Jahrhunderts allmählich erkannt, insbesondere durch eine Reihe wissenschaftlicher Studien, die den Zusammenhang zwischen Tabakkonsum und schweren Krankheiten wie Lungenkrebs, Herzkrankheiten und chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen belegten. Bereits in den 1930er Jahren begannen erste Hinweise auf die Gefahren des Rauchens aufzutauchen, doch erst in den 1950er Jahren führte die bahnbrechende Forschungsarbeit von Wissenschaftlern wie Sir Richard Doll und Austin Bradford Hill zu überzeugenden Beweisen. Ihre epidemiologischen Studien zeigten, dass Rauchende ein deutlich erhöhtes Risiko hatten, an Lungenkrebs zu erkranken.

Der gesellschaftliche und politische Umgang mit diesen Erkenntnissen war äußerst komplex und von erheblichen Interessenkonflikten geprägt. Die Tabakindustrie, ein mächtiger wirtschaftlicher Akteur, versuchte vehement, die wissenschaftlichen Beweise zu diskreditieren und die Gefahren des Rauchens herunterzuspielen. Tabakunternehmen finanzierten eigene Studien, welche die schädlichen Auswirkungen des Rauchens in Frage stellten, und starteten umfangreiche PR-Kampagnen, um die Öffentlichkeit zu beruhigen und Zweifel zu säen. Diese Bemühungen wurden von einer aggressiven Marketingstrategie begleitet, die Rauchen als glamourös und gesellschaftlich akzeptabel darstellte.

Gleichzeitig wuchs der Druck von Gesundheitsexpertinnen und -experten sowie öffentlichen Gesundheitsorganisationen, die Bevölkerung über die Risiken des Rauchens aufzuklären und Maßnahmen zum Schutz der öffentlichen Gesundheit zu ergreifen. Berichte wie der Surgeon General's Report on Smoking and Health von 1964 in den USA spielten eine entscheidende Rolle dabei, die schädlichen Auswirkungen des Rauchens in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu rücken. Dieser Bericht fasste die vorhandenen wissenschaftlichen Beweise zusammen und bestätigte, dass Rauchen eine Hauptursache für Lungenkrebs und andere schwere Erkrankungen war.

Politisch führte die wachsende Evidenz zu einer Reihe von Maßnahmen zur Bekämpfung des Tabakkonsums. In vielen Ländern wurden Gesetze erlassen, um das Rauchen einzuschränken und die Öffentlichkeit zu schützen. Dazu gehörten Werbeverbote für Tabakprodukte, Warnhinweise auf Zigarettenpackungen, Rauchverbote in öffentlichen Räumen und höhere Steuern auf Tabakwaren. Diese Maßnahmen stießen jedoch auf erheblichen Widerstand seitens der Tabakindustrie und ihrer Lobby, die versuchten, strengere Regulierungen zu verhindern oder abzuschwächen. Sie argumentierten, dass solche Maßnahmen wirtschaftliche Schäden verursachen und individuelle Freiheitsrechte einschränken würden.

Der gesellschaftliche Diskurs war stark von diesen Interessenkonflikten geprägt. Auf der einen Seite standen Gesundheitsexpertinnen und -experten, Aktivistinnen und Aktivisten und Betroffene, die sich für den Schutz der öffentlichen Gesundheit einsetzten. Auf der anderen Seite standen die Tabakunternehmen und ihre Verbündeten, die wirtschaftliche Interessen

verfolgten und versuchten, den Einfluss von Gesundheitswarnungen zu minimieren. Medien spielten eine entscheidende Rolle dabei, die Debatte zu gestalten und die Öffentlichkeit zu informieren. Dokumentationen, Nachrichtenberichte und Kampagnen halfen dabei, die Gefahren des Rauchens bekannt zu machen und den Druck auf politische Entscheidungstragende zu erhöhen.

Trotz des Widerstands der Tabakindustrie führten die kontinuierlichen Bemühungen von Gesundheitsorganisationen und Aktivistinnen und Aktivisten zu bedeutenden Fortschritten im Kampf gegen das Rauchen. Die Raucherquoten begannen in vielen Ländern zu sinken und die Akzeptanz von rauchfreien Umgebungen nahm zu. Die Regulierung des Tabakkonsums bleibt jedoch ein fortlaufender Prozess, da neue Herausforderungen wie die Verbreitung von E-Zigaretten und andere nikotinhaltige Produkte auftreten.

3. Die Minamata-Krankheit

Die Quecksilbervergiftung in Minamata, Japan, auch bekannt als Minamata-Krankheit, wurde erstmals in den frühen 1950er Jahren entdeckt als Ärztinnen und Ärzte eine Vielzahl von seltsamen Symptomen bei den Bewohnern von Minamata City, einer Küstenstadt auf der Insel Kyushu, beobachteten. Die Betroffenen litten unter neurologischen Störungen wie Zittern, Taubheit in den Gliedmaßen, Verlust der Koordinationsfähigkeit und schwerwiegenden kognitiven Beeinträchtigungen. Diese Symptome führten zu schweren Behinderungen und in vielen Fällen zum Tod. Nach umfassenden Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Chisso Corporation, ein Chemieunternehmen, große Mengen an Methylquecksilber als Abfallprodukt in die Minamata-Bucht geleitet hatte. Dieses giftige Quecksilber reichert sich in den Fischen und Meeresfrüchten an, welche die Hauptnahrungsquelle für die lokale Bevölkerung darstellen.

Die Entdeckung der Vergiftung löste zunächst eine Welle des Schocks und der Verwirrung aus. Die lokale Bevölkerung und die betroffenen Familien standen vor dem Rätsel, was die Ursache dieser schrecklichen Krankheit war. Ärztinnen und Ärzte sowie Forscherinnen und Forscher arbeiteten daran, den Ursprung der Symptome zu ermitteln, und schon bald fiel der Verdacht auf die Umweltverschmutzung durch industrielle Abwässer. Die Verbindungen zwischen der Chisso Corporation und der Quecksilberkontamination wurden immer klarer, doch die offizielle Anerkennung und die Reaktion darauf zogen sich lange hin.

Politisch und gesellschaftlich war der Umgang mit der Katastrophe komplex und umstritten. Die Chisso Corporation, ein bedeutender Arbeitgeber und wirtschaftlicher Akteur in der Region, versuchte zunächst, die Verantwortung abzulehnen und die Auswirkungen ihrer Umweltverschmutzung herunterzuspielen. Das Unternehmen versuchte Beweise zu vertuschen und die Öffentlichkeit zu beruhigen, indem es falsche Informationen verbreitete und sich weigerte, die Verbindung zwischen den Emissionen und der Krankheit anzuerkennen.

Die japanische Regierung reagierte zögerlich auf die Krise. Es dauerte bis 1968, bis die Regierung offiziell erklärte, dass die Minamata-Krankheit durch industrielle Quecksilberverschmutzung verursacht wurde. Diese Verzögerung wurde von vielen als Versuch gewertet, die wirtschaftlichen Interessen der Chisso Corporation und die industrielle Entwicklung des Landes zu schützen. In der Zwischenzeit kämpften die betroffenen Familien und Opfer um Anerkennung, Entschädigung und medizinische Hilfe. Aktivistinnen und Aktisten und Bürgerrechtsgruppen, darunter Anwältinnen und Anwälte sowie medizinische Expertinnen und Experten,

spielten eine entscheidende Rolle dabei, die öffentliche Aufmerksamkeit auf das Ausmaß der Katastrophe zu lenken und die Verantwortlichen zur Rechenschaft zu ziehen.

Interessengruppen, insbesondere die Chisso Corporation und ihre Verbündeten in der Politik und Industrie, versuchten, Maßnahmen zur Schadensbegrenzung zu verhindern oder zu verzögern. Sie argumentierten, dass strenge Umweltauflagen und Entschädigungszahlungen die wirtschaftliche Stabilität gefährden würden. Auf der anderen Seite engagierten sich Opfergruppen, Umweltschützer und Menschenrechtsorganisationen, um Druck auf die Regierung und das Unternehmen auszuüben. Diese Gruppen organisierten Proteste, reichten Klagen ein und führten umfangreiche Kampagnen durch, um Gerechtigkeit und Entschädigung für die Betroffenen zu erlangen.

Der gesellschaftliche Diskurs wurde stark von diesen Interessenkonflikten geprägt. Die Medienberichterstattung spielte eine wesentliche Rolle dabei, die Tragödie einem breiteren Publikum bekannt zu machen und internationale Aufmerksamkeit zu erlangen. Dies führte zu einem wachsenden Bewusstsein für Umweltprobleme und die Notwendigkeit strengere Regulierungen zum Schutz der öffentlichen Gesundheit.

In den Jahren nach der Anerkennung der Minamata-Krankheit wurden verschiedene Entschädigungsprogramme eingeführt und Chisso wurde verpflichtet, die Betroffenen finanziell zu unterstützen. Dennoch blieben viele Opfer und ihre Familien unzufrieden mit dem Ausmaß der Entschädigungen und der schleppenden Umsetzung von Umweltschutzmaßnahmen.

4. Blei in Wasserleitungen

Die gesundheitsschädliche Wirkung von Blei aus Wasserleitungen wurde im Laufe des 20. Jahrhunderts allmählich erkannt, wobei die Gefahren insbesondere durch wissenschaftliche Studien und tragische Vorfälle aufgedeckt wurden. Bereits im alten Rom war bekannt, dass Blei gesundheitsschädlich sein kann, doch das Ausmaß und die spezifischen Gesundheitsrisiken wurden erst viel später umfassend verstanden. Blei wurde aufgrund seiner Flexibilität und Haltbarkeit häufig in Wasserleitungen und Rohrverbindungen verwendet, was über Jahre hinweg zu schleichenden Bleivergiftungen führte.

Die ersten ernsthaften Hinweise auf die Gefährdung durch Blei in Wasserleitungen kamen in der Mitte des 20. Jahrhunderts, als Medizinerinnen und Mediziner sowie Forscherinnen und Forscher die hohe Prävalenz von Bleivergiftungen in städtischen Gebieten feststellten. Besonders alarmierend war der Zusammenhang zwischen Blei und schweren gesundheitlichen Schäden bei Kindern, darunter neurologische Störungen, Verhaltensprobleme und Entwicklungsverzögerungen. Wissenschaftler wie Dr. Herbert Needleman trugen maßgeblich dazu bei, diese Zusammenhänge durch umfangreiche Studien zu belegen, welche die negativen Auswirkungen von Blei auf die kognitive Entwicklung von Kindern dokumentierten.

Die gesellschaftliche und politische Reaktion auf diese Erkenntnisse war von Konflikten und Widerständen geprägt. Die bleiverarbeitende Industrie und Verbände, die mit dem Bau und der Instandhaltung von Wasserinfrastrukturen befasst waren, leisteten erheblichen Widerstand gegen strengere Regulierungen. Sie argumentierten, dass der Austausch von Bleirohren hohe Kosten verursachen und wirtschaftliche Belastungen mit sich bringen würde. Zudem wurde die gesundheitliche Gefahr lange Zeit von verschiedenen Interessengruppen heruntergespielt oder geleugnet.

Parallel dazu wuchs der Druck von Gesundheitsbehörden, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Aktivistinnen und Aktivisten, die auf die dringende Notwendigkeit hinwiesen, Bleikontaminationen zu beseitigen. Die Öffentlichkeit wurde zunehmend durch Berichte über die gesundheitlichen Risiken alarmiert und tragische Vorfälle wie die Flint-Wasserkrise in Michigan, USA, im Jahr 2014 verdeutlichten das Ausmaß des Problems. In Flint führte die Umstellung der Wasserversorgung zu einer dramatischen Erhöhung der Bleikonzentration im Trinkwasser, was zu einer öffentlichen Gesundheitskrise führte und das Bewusstsein für die Gefahren von Blei weiter schärfte.

Politisch führten diese Entwicklungen zu einer Reihe von Maßnahmen und Gesetzesänderungen. In den USA wurde beispielsweise der Safe Drinking Water Act von 1974 mehrfach aktualisiert, um strengere Grenzwerte für Blei im Trinkwasser festzulegen und die Verantwortung der Wasserwerke zu erhöhen. Die Environmental Protection Agency (EPA) legte Grenzwerte für Bleigehalte fest und führte Überwachungsprogramme ein, um sicherzustellen, dass diese eingehalten werden. Auf internationaler Ebene wurden ähnliche Regulierungen eingeführt, und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfahl, den Bleigehalt im Trinkwasser so gering wie möglich zu halten.

Der gesellschaftliche Diskurs um die Bleivergiftung aus Wasserleitungen war stark von den Interessenkonflikten zwischen Industrie, Gesundheitsbehörden und der betroffenen Bevölkerung geprägt. Während die Industrie zunächst versuchte, die Kosten und den Aufwand zu minimieren, kämpften betroffene Bürgerinnen und Bürger, Aktivistinnen und Aktivisten sowie Gesundheitsexpertinnen und -experten für strengere Regulierungen und den Schutz der öffentlichen Gesundheit. Medienberichte und wissenschaftliche Veröffentlichungen spielten eine entscheidende Rolle dabei, die Gefahren von Blei in den öffentlichen Fokus zu rücken und politischen Druck aufzubauen.

Heute sind die gesundheitlichen Risiken von Blei weithin anerkannt und es wurden bedeutende Fortschritte bei der Reduzierung der Bleikontamination in Trinkwassersystemen erzielt. Dennoch bleibt die vollständige Beseitigung von Bleirohren und -verbindungen eine Herausforderung, die kontinuierliche Aufmerksamkeit und Investitionen erfordert.

5. Anthropogener Treibhauseffekt

Bereits 1824 war dem berühmten Mathematiker und Physiker Joseph Fourier klar, dass die Erde viel wärmer ist, als man aufgrund der Sonneneinstrahlung erwarten würde. Fouriers Neugier verschlug ihn angeblich sogar in eine Waffenkammer, wo er Kanonenkugeln erhitzte, um zu beobachten, wie schnell sie abkühlen. Seine Erkenntnisse übertrug er auf die Erde. Er äußerte die Idee, dass die Erdatmosphäre für die Speicherung reflektierter Sonnenstrahlung verantwortlich sein könnte. Einen experimentellen Beleg zum Treibhauseffekt gab es zu dem Zeitpunkt schon: Der Schweizer Monsieur de Saussure hatte innen geschwärzte Vasen mit Glas abgedeckt und eine starke Temperaturerhöhung im Innern beobachtet. Mit dem kurz später entdeckten Stefan-Boltzmann Gesetz konnte man dann sogar recht genau ausrechnen, dass die Temperatur der Erde ohne ihre Atmosphäre eigentlich -18 °C betragen müsste. Der Ire John Tyndall entdeckte dann experimentell, welche atmosphärischen Gase Wärmestrahlung absorbieren können, wozu insbesondere Wasserdampf, CO_2 und Methan gehören. Basierend auf unter anderem diesen experimentellen Daten hat der schwedische Physiker und Chemiker Svante Arrhenius ein einfaches Klimamodell entworfen und von Hand durchgerechnet. Das Modell war bereits sehr ausgefeilt: es berücksichtigte Rückkopplungseffekte (höhere Temperatur \rightarrow mehr Wasserdampf \rightarrow verstärkter Treibhauseffekt \rightarrow höhere Temperatur) und machte Vorhersagen für verschiedene Breitengrade. Als erster kam Arrhenius zu einer möglichen Erklärung der Eiszeiten: Eine Halbierung des CO_2 -Gehaltes der Atmosphäre könnte die Eiszeiten

ausgelöst haben. Eine Verdopplung hingegen würde die Temperatur der Atmosphäre im Mittel um ca. 5,5 °C erhöhen. In verbesserten Klimamodellen wurde der Wert später auf 4 °C korrigiert. Arrhenius hat also als erster eine mögliche Klimaerwärmung in Folge erhöhter CO₂-Konzentration vorhergesagt.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat der US-amerikanische Klimaforscher Charles David Keeling wegweisende Langzeitmessungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration durchgeführt. Diese Messungen laufen bis heute und zeigen einen Anstieg der Konzentration von 320 Teile pro Million in den 1960er Jahren auf 420 Teile pro Million heute. Durch eingeschlossene Luftbläschen in Eisbohrkernen kann man den atmosphärischen CO₂-Gehalt in der Erdgeschichte sehr weit zurückverfolgen. Dabei wurde festgestellt, dass in der letzten Million Jahre die Konzentration immer zwischen 180 und 300 Teilen pro Million gelegen hat. Die heutige Konzentration ist also außergewöhnlich hoch und der Anstieg begann mit Beginn des industriellen Zeitalters.

Die Menge fossiler Brennstoffe, welche schon aus der Erde geholt und verbrannt wurden, lässt sich leicht abschätzen. Es wurde festgestellt, dass deren Verbrennung genau die Menge an CO₂ freisetzt, die dem Anstieg der Konzentration in der Atmosphäre entspricht. Schaut man sich außerdem die Zusammensetzung der Kohlenstoffisotope genauer an, kann man belegen, dass das zusätzliche CO₂ in der Atmosphäre aus längst gestorbenen Pflanzen, also fossilen Energieträgern, stammt (vgl. C-14-Methode).

Im November 1988 wurde der Weltklimarat IPCC ins Leben gerufen. Der Anlass war ein Vortrag von James Hansen, Klimaforscher der NASA, vor dem US-Senat. Dadurch haben Medien und Politik das Thema erstmalig aufgegriffen. Was zu der Zeit noch niemand wusste: Bereits 1977 wurde der Vorstand des Mineralölkonzerns Exxon (heute Exxon Mobil) von Forscherinnen und Forschern aus den eigenen Reihen darüber aufgeklärt, dass die globale Durchschnittstemperatur bei einer Verdopplung des CO₂-Gehaltes um zwei bis drei Grad ansteigen werde. Die Vorhersagen der Exxon-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind dabei sogar deutlich genauer, als die der NASA. Exxon nutzte dieses Wissen jedoch nicht zur Aufklärung, sondern für die Entwicklung von Desinformationskampagnen.

Erst 1997 wurde mit dem Kyoto-Protokoll der erste völkerrechtlich bindende Vertrag geschlossen, der die beteiligten Staaten verpflichtet, ihren Ausstoß an Treibhausgasen zu reduzieren. 2015 folgte das Abkommen von Paris, in dem 197 Staaten gemeinsam erklären, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C begrenzen zu wollen. Jedes Land legt dabei selbst fest, auf welche Art und Weise es seinen Emissionsanteil reduziert. Alle fünf Jahre wird dabei eine globale Bestandsaufnahme gemacht. Die nationalen Ziele zur Emissionsreduktion müssen dabei gesteigert werden und alle Staaten sind aufgefordert, eine langfristige Strategie für eine treibhausgasarme Entwicklung vorzulegen. In Europa beispielsweise sollen bis 2030 mindestens 55 % weniger Treibhausgasemissionen ausgestoßen werden. Bis 2050 soll die EU klimaneutral werden. „Klimaneutral“ heißt, dass nicht mehr CO₂ ausgestoßen wird als von der Umgebung (natürlich oder künstlich) aufgenommen werden kann.

Material 2

Arbeitsblatt Kleingruppenexperiment

1. Ziel:

Im Experiment wird bei wärmebestrahlter Luft die Abhängigkeit der Temperatur vom CO₂-Anteil der Luft untersucht.

2. Aufbauanleitung/Material:

- Bastle dir eine Pappröhre von ca. 10 cm Durchmesser und 15 cm Länge.
- Schneide ein Loch für eine Schlauchdurchführung und ein Loch für eine Kabeldurchführung in die Röhre. Orientiere dich dabei an der Größe des Kabels und des Schlauches, welche dir zur Verfügung stehen.
- Platziere einen Temperatursensor in der Röhre und führe das Kabel durch das dafür vorgesehene Loch.
- Verschließe das Loch für die Schlauchdurchführung mit einem Gummistopfen.
- Verschließe die Enden der Pappröhre, indem du Klarsichtfolien darüber spannst und mit Gummi fixierst.
- Platziere die Röhre liegend auf einem Stativ.
- Platziere ca. 20 cm von der Röhre entfernt eine Wärmelampe (am besten ein Keramikstrahler) so, dass sie auf ein folienbedecktes Ende der Röhre zeigt.
- Halte den Schlauch und ein CO₂-Reservoir bereit. Als CO₂-Reservoir kann z. B. die Patrone eines Sprudelautomaten oder CO₂-Kartuschen für Fahrradreifen dienen. Du kannst CO₂ auch in einem Erlenmeyerkolben mit Hilfe von Wasser, Natron und Essigsäure erzeugen.
- Schließe das Kabel des Temperatursensors an den Rechner mit der dafür vorgesehenen Software an.

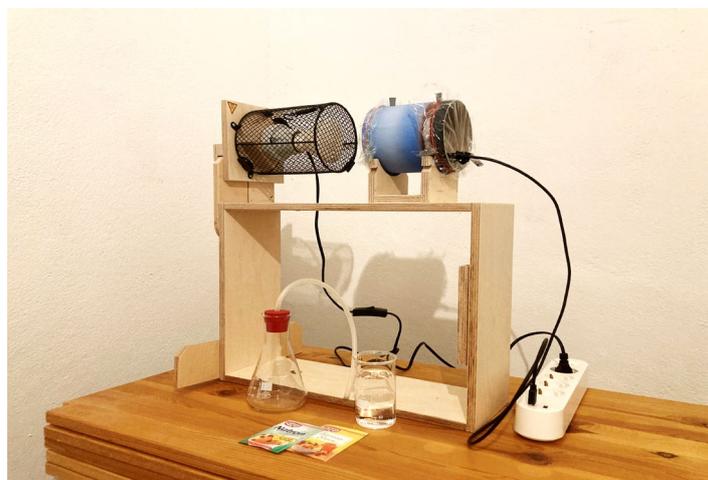


Abbildung 1: Möglicher Aufbau zur nachbildung des Treibhauseffektes mit dem Klimakoffer der LMU.
(IQB e. V., 2024).

3. Durchführung:

- Schalte die Infrarotlampe ein und starte die Messung. Warte bis sich eine gleichbleibende Temperatur (Gleichgewichtstemperatur) eingestellt hat. Das kann bis zu 30 Minuten dauern. Besuche während der Wartezeit die Webseite und öffne die Simulation zum Treibhauseffekt. Probiere verschiedene Einstellungen und beobachte ihre Auswirkungen.
- Trage dann die Gleichgewichtstemperatur in die entsprechende Verlaufskarte aus Material 3 ein.
- Lasse nun das CO₂ mit dem Schlauch in die Papp-
röhre.
- Sobald sich erneut eine Gleichgewichtstemperatur eingestellt hat, trage die Temperatur in die entsprechende Verlaufskarte aus Material 3 ein, beende die Messung und exportiere die Messwerte als Tabelle in einem gängigen Dateiformat (z. B. .csv).



Simulation des Treibhauseffektes.
https://phet.colorado.edu/sims/html/greenhouse-effect/latest/greenhouse-effect_all.html?locale=de (PhET™ Interactive Simulation, 2024).

4. Beobachtung/Messwerte:

Drucke die Tabelle aus und klebe sie hier ein:

5. Auswertung/Ergebnis:

Schneide die Verlaufskarten aus und klebe sie an richtiger Stelle ein:

Zeitabschnitte	Erklärung der Messkurve

Material 3**Verlaufskarten**

Die Luft im Pappzylinder (sowie der Pappzylinder selbst) nimmt mehr Wärmestrahlung auf, als sie wieder abgibt. Die Temperatur erhöht sich.

Die Luft im Pappzylinder (sowie der Pappzylinder selbst) nimmt mehr Wärmestrahlung auf, als sie wieder abgibt. Die Temperatur erhöht sich.

Es herrscht ein Strahlungsgleichgewicht. Die Temperatur der Luft ohne zusätzliches Treibhausgas beträgt ungefähr ___ °C.

Der Keramikinfrarotstrahler erwärmt sich und gibt kaum noch Strahlung ab. Die Luft im Pappzylinder hat Raumtemperatur.

Ein Stopfen wird vom Pappzylinder entfernt, damit über einen Schlauch CO₂ eingeleitet werden kann. Das CO₂ ist dabei kälter als die Luft im Zylinder.

Es herrscht ein Strahlungsgleichgewicht. Die Temperatur der Luft mit zusätzlichem Treibhausgas beträgt ungefähr ___ °C.

Das beim Temperatursensor liegende kalte CO₂ erwärmt sich schnell und steigt nach oben. Die kältere Luft sinkt nach unten. Nach und nach durchmischen sich die Gase und die Temperatur gleicht sich an.

3 Hinweise zur Durchführung

Zielsetzung

Das Thema Klimawandel wird in der breiten Öffentlichkeit vor allem durch die dem Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 inhärenten politischen Maßnahmen auf nationaler Ebene diskutiert. Obwohl die Unterzeichnung von 197 Staaten eindeutig auf einen politischen Konsens hinweist, welchem ein wissenschaftlicher Konsens vorausgegangen ist, werden Erkenntnisse der Klimatologie in der gesellschaftlichen Diskussion immer wieder angezweifelt. Oft wird dabei nicht sauber zwischen wissenschaftlich begründeten Voraussagen und wilden Spekulationen unterschieden. Eine grundlegende Sachkompetenz zur Klimaphysik kann hier zur Meinungsbildung der Lernenden beitragen. Außerdem sollen die Lernenden in der Lage sein, die Auswirkungen der klimaphysikalischen Erkenntnisse im gesellschaftlichen Zusammenhang zu benennen.

Der anthropogene Treibhauseffekt ist der zentrale Prozess des Klimawandels, auf welchen der Mensch durch die Emission von Treibhausgasen Einfluss nimmt. Ein Versuch, welcher dieses Phänomen modellhaft darstellt, kann den Lernenden damit helfen, diesen Prozess zu verstehen. Darüber hinaus machen sie sich mit der wissenschaftlichen Methode des Experimentes weiter vertraut.

Anhand des Temperaturverlaufes während des Versuches tritt das Basiskonzept „Erhaltung und Gleichgewichte“ besonders zu Tage, da sich eine konstante Temperatur erst im Gleichgewicht einstellt. So kann man den Lernenden daran anknüpfend deutlich machen, dass einem dynamischen Prozess (wie Temperaturerhöhung) immer ein Ungleichgewicht zu Grunde liegt.

Didaktische Hinweise

Für Teilaufgabe 1 sollen sich die Lernenden mit Infotexten auseinandersetzen, welche einige beispielhafte Auswirkungen von wissenschaftlichen Erkenntnissen im gesellschaftlichen Kontext beschreiben. Dazu teilen sich die Lernenden einer Gruppe die Texte auf, weswegen Gruppen zu je fünf Personen empfohlen werden. Sollten übrig gebliebene Gruppen kleiner sein, ist darauf zu achten, dass der Text zum anthropogenen Treibhauseffekt in jedem Fall bearbeitet wird. Zu den im Text beschriebenen Erkenntnissen gehört auch die Absorption von Wärmestrahlung durch CO_2 , welche in Teilaufgabe 2 von den Lernenden nachvollzogen wird.

Die Messungen des Versuches in Teilaufgabe 2 können auch durch händisches Protokollieren der Daten in einer Tabelle mit anschließender Diagrammerstellung gemacht werden. Es empfiehlt sich jedoch eine zeitgemäße, digitale Messwerterfassung. Namhafte Hersteller bieten dafür fertige Systemlösungen mit Sensoren und entsprechender Software an. Eine weitaus kostengünstigere Alternative bieten Mikrocontroller mit angeschlossenen Temperatursensoren. Diese sind leicht programmierbar und kabellos, sodass die Daten mit Apps auf dem Handy aufgenommen und exportiert werden können.

Die Durchführung orientiert sich am *Klimakoffer der Ludwig-Maximilians-Universität*¹. Statt des beiliegenden Thermometers wurde ein WLAN-fähiger Mikrocontroller mit Umweltsensor benutzt. Dieser wurde so programmiert, dass er alle 20 Sekunden die Temperatur an eine

¹ <https://klimawandel-schule.de/de/der-lmu-klimakoffer>

Cloudplattform² sendet, welche die Daten in Echtzeit in einem Diagramm darstellt. Die Lernenden müssen dann lediglich die Messung starten und können während der Wartezeit bis zum Gleichgewicht andere Teilaufgaben bearbeiten. Darüber hinaus können die Daten als .csv exportiert und mit gängigen Programmen weiter ausgewertet werden.

Zu beachten ist noch, dass die Platzierung des Sensors innerhalb der Pappröhre eine Rolle für das Messergebnis spielen kann. Das dem Klimakoffer beiliegende Thermometer besteht aus einer langen Sonde, die eine mittlere Temperatur über die gesamte Länge der Röhre misst.

Ist die Messung gestartet, kann es bis zu 30 Minuten dauern, bis sich ein Gleichgewicht einstellt. Während des Wartens sollen die Lernenden sich mit einer Simulation des Treibhauseffektes frei beschäftigen. Diese vermittelt den Lernenden eine bildhafte und schematische (stark vereinfachte) Modellvorstellung der Geschehnisse beim Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre und überbrückt außerdem die Wartezeit.

² Verwendete Plattform: <https://thingspeak.com/>

4 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwendet:

- ◆ S – Standards der Sachkompetenz,
- ◆ E – Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz,
- ◆ K – Standards der Kommunikationskompetenz,
- ◆ B – Standards der Bewertungskompetenz.

1.1	<p>Immer wieder haben wissenschaftliche Erkenntnisse dabei geholfen, Gefahren für die Umwelt und die Gesundheit von Menschen zu identifizieren. In den fünf Infotexten (Material 1) sind Beispiele dafür beschrieben. Teilt euch zunächst in Gruppen zu je fünf Personen auf. Teilt dann die fünf Texte unter euch so auf, dass jede Person einen anderen Text bearbeitet. Fasst sie in Einzelarbeit jeweils in Stichworten zusammen. Orientiert euch dabei an den Leitfragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen? • Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle? • Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen? • Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst? <p>Stellt danach euer Beispiel der Gruppe in einem Kurzvortrag vor. Nehmt dabei eure Stichworte zu Hilfe.</p>	S	E	K 1.5	B
-----	---	---	---	----------	---

Die Leitfragen sind ein Hilfsmittel, den Text stichwortartig und strukturiert zusammenzufassen. Hierbei sollte zwischen physikalischen und außerphysikalischen Inhalten unterschieden werden. Bei außerphysikalischen Texten reicht es, wenn die Lernenden in der Gruppe ihre Zusammenfassung relevanter Informationen in angemessener Alltagssprache wiedergeben. Bei der Bearbeitung von Texten mit physikalischen Inhalten muss für die Erfüllung des Standards auch Fachsprache verwendet werden.

Lösungsbeispiel:

Radium Girls

Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?

Die Arbeiterinnen und ihre Familien sowie Unternehmen, die Radium verwendeten.

Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?

Ärztinnen und Ärzte sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellten eine Verbindung zwischen der Arbeit mit Radium und den gesundheitlichen Problemen her.

Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?

Die Verabschiedung von Arbeitsschutzgesetzen und Entschädigungszahlungen an die Arbeiterinnen.

Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Die Unternehmen leugneten die Verbindung zwischen Radium und den gesundheitlichen Schäden und führten fehlerhafte Studien durch, um zu beweisen, dass Radium sicher sei. Außerdem versuchten sie, die betroffenen Frauen zu diskreditieren. Die Frauen organisierten sich und reichten Klagen ein. Die Medien verbreiteten die Geschichte in der Öffentlichkeit.

Rauchen

Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?

Rauchende und ihre Mitmenschen sowie die Tabakindustrie.

Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?

Forschungsarbeiten aus den 1930er und 50er Jahren über den Zusammenhang zwischen Tabakkonsum und schweren Krankheiten wie Lungenkrebs.

Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?

Verschiedene Gesetze, um Tabakkonsum zu reduzieren, z. B. Werbeverbot.

Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Die Tabakunternehmen versuchten, die wissenschaftlichen Beweise zu diskreditieren und finanzierten eigene Studien, die die schädlichen Auswirkungen des Rauchens in Frage stellten. Außerdem starteten sie PR-Kampagnen. Gesundheitsexpertinnen und -experten, Aktivistinnen und Aktivisten sowie Betroffene haben durch Aufklärungskampagnen den politischen Druck erhöht.

Minamata-Krankheit

Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?

Die Chisso Corporation, die japanische Regierung und die Opfer.

Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?

Ärztinnen und Ärzte untersuchten die Symptome der Betroffenen und konnten sie auf eine Vergiftung durch industrielle quecksilberhaltige Abfälle zurückführen.

Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?

Umweltschutzmaßnahmen und Entschädigungen für die Opfer.

Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Die Chisso Corporation hat mit Hilfe von Verbündeten in der Politik versucht, Maßnahmen zu verhindern. Ihr Hauptargument war, dass die wirtschaftliche Stabilität gefährdet sei. Die Opfergruppen organisierten zusammen mit Aktivistinnen und Aktivisten Proteste und Aufklärungskampagnen. Außerdem reichten sie Klage ein.

Blei in Wasserleitungen

Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?

Menschen, deren Wasserleitungen an bleihaltige Wasserleitungen angeschlossen sind, insbesondere in (Alt-)Städten. Außerdem betroffen sind die bleiverarbeitende Industrie und Versorgungsunternehmen.

Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?

Studien zur gesundheitsschädlichen Wirkung von Blei vor allem bei Kindern.

Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?

Grenzwerte für Blei im Trinkwasser wurden eingeführt bzw. herabgesetzt.

Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Die bleiverarbeitende Industrie sowie Versorgungsunternehmen haben zum Teil die Gefahren heruntergespielt oder geleugnet. Die betroffene Bevölkerung und die Gesundheitsexpertinnen und -experten haben durch Medienberichte und wissenschaftliche Veröffentlichungen den politischen Druck erhöht.

Anthropogener Treibhauseffekt

Lösungsbeispiel (basierend größtenteils auf Informationen aus Material 1, zum Teil auch aus Informationen darüber hinaus, die Lernende als Vorwissen einbringen könnten):

Welche Menschen und Interessengruppen sind von dem Sachverhalt betroffen?

Hervorzuheben ist, dass von diesem Thema alle Menschen betroffen sind. Besonders engagierte Gruppen, die sich für mehr oder auch weniger Klimaschutzmaßnahmen stark machen sind Aktivistinnen und Aktivisten sowie Mineralölkonzerne. Auch die Politik ist besonders betroffen, weil sie sich durch internationale Abkommen zum Handeln verpflichtet hat.

Welche wissenschaftliche Erkenntnis spielt hier eine Rolle?

Es gibt eine Vielzahl von Studien und Modellen, die den anthropogenen Treibhauseffekt belegen. Vor allem durch die Experimente von Tyndall und die ersten Klimamodellrechnungen von Arrhenius, die nicht nur das Zustandekommen der Eiszeiten erklären können, sondern auch die Erderwärmung vorhersagen. Die Keelingkurve korreliert mit den mittleren Temperaturverläufen über lange Zeiträume, außerdem lässt sich das zusätzliche CO₂ in der Atmosphäre eindeutig auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückführen.

Welche politischen Maßnahmen wurden getroffen?

Mit globalem Bezug sind die internationalen Abkommen wie Kyoto-Protokoll und Pariser Abkommen zu nennen. Auf Ebene der EU wurde, neben einigen weiteren Zielen, als primäres Ziel die Klimaneutralität 2050 beschlossen. Auf nationaler Ebene wurde das unterschiedlich umgesetzt. Ein Beispiel wäre hier das Erneuerbare-Energien-Gesetz in Deutschland.

Inwiefern haben diese Interessengruppen bei der Umsetzung oder Verhinderung von Maßnahmen mitgewirkt und den gesellschaftlichen Diskurs beeinflusst?

Der Mineralölkonzern Exxon, welcher sehr früh über die Auswirkungen der Treibhausgasemission Bescheid wusste, hat Desinformationskampagnen geführt. Dessen Scheinargumente gegen den menschengemachten Klimawandel werden auch heute noch von Skeptikern aufgegriffen. Andererseits gibt es inzwischen viele Aufklärungskampagnen. Bewegungen wie

„Fridays for Future“ oder Protestaktionen von Aktivistinnen und Aktivisten rücken das Thema in die gesellschaftliche Aufmerksamkeit. Der öffentliche Diskurs wird vor allem in sozialen Medien geführt und ist oft geprägt von einer Emotionalisierung des Themas. Wissenschaftliche Fakten und Argumente spielen in populistischen Medien oft keine nennenswerte Rolle.

1.2	Beratet euch in der Gruppe, bei welchen Infotexten insbesondere physikalische Erkenntnisse eine Rolle spielen. Zieht ein gemeinsames Fazit, welche politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen die Erkenntnisse jeweils hatten. Charakterisiert dabei das menschliche Handeln in den Beispielen in Bezug auf Entschlossenheit und Solidarität.	S	E	K	B 3.2
-----	--	---	---	---	----------

Der Standard B 3.2 ist dann erfüllt, wenn einige Auswirkungen inhaltlich beschrieben werden. Das Benennen kann sowohl aufgrund des Vorwissens der Lernenden geschehen als auch aufgrund der Recherche von Informationen, die hier zunächst im Sinne von K 1.5 aufbereitet werden müssen.

Lösungsbeispiel:

Physikalische Erkenntnisse spielten insbesondere bei den Radium Girls und beim Treibhauseffekt eine Rolle. Der Fall der Radium Girls hat letztendlich zu bedeutenden Fortschritten beim Arbeitsschutz geführt. Die Erkenntnisse über den Treibhauseffekt haben schließlich zu internationalen Abkommen geführt. Damit verbunden wurden politische Maßnahmen getroffen, wie verbindliche Zielvorgaben zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen (EU) oder das Erneuerbare-Energien-Gesetz (Deutschland).

Von entschlossenem Handeln kann man in keinem der Beispiele sprechen. Unterschiedliche Interessen geraten in einer Demokratie natürlicherweise in Konflikt. In allen Fällen wurde das Handeln durch Interessenkonflikte zum Teil Jahrzehnte lang verzögert. Wenn Menschen ihren eigenen Wohlstand gefährdet sehen, neigen sie im Zweifelsfall oft dazu, sich gegen die Nachhaltigkeit oder Solidarität zu positionieren. Um ihre eigene moralische Integrität zu bewahren, stellen sie Fakten in Frage und interpretieren wissenschaftliche Ergebnisse in unzulässiger Weise, damit das eigene Weltbild dadurch gestützt wird. Das führte oft auch zu falschen Behauptungen, die wissenschaftlich leicht widerlegt werden können, z. B. dass das „Sonnenwetter“ für die Erderwärmung verantwortlich sei. Teile der Bevölkerung solidarisieren sich jedoch auch mit betroffenen Menschen, werden aktiv und versuchen aufzuklären. Allen Fällen gemein ist, dass ab einer gewissen Anzahl an Geschädigten, Fakten und Beweisen ein Wendepunkt erreicht wird, ab welchem Maßnahmen durchgesetzt werden.

1.3	Unter einem Beitrag auf einer sozialen Plattform mit dem Titel „Heißester Sommer seit 2000 Jahren!“ findet ihr folgende Kommentare: <ul style="list-style-type: none"> • "Die Temperaturen schwanken seit Jahrhunderten, das ist völlig normal. Diese Hysterie ist lächerlich." • "Ich erinnere mich an die Sommer in den 80ern, die waren genauso heiß. Nichts Neues hier!" 	S	E	K	B 2.1
-----	--	---	---	---	----------

	<ul style="list-style-type: none"> • "Die Konzentration von CO₂ in der Luft beträgt lediglich 0,04 %. Das ist viel zu wenig, um irgendeine Auswirkung auf die globale Temperatur zu haben." • "Diese sogenannten Wissenschaftler werden doch alle von der Regierung bezahlt. Glaubt nicht alles, was ihr lest." <p>Formuliert jeweils in wenigen Sätzen eine Antwort und nutzt, wenn möglich, wissenschaftliche Argumente (Material 1) als Belege.</p>				
--	---	--	--	--	--

In dieser sehr geschlossenen Aufgabenstellung werden die Informationen des Textes zum anthropogenen Treibhauseffekt (Material 1) genutzt, um einige gängige Argumente von Klimaleugnern zu entkräften. Jede Aussage wird dadurch von den Lernenden reflektiert und rational beurteilt. Dadurch, dass die Gruppe die Antwort gemeinsam formuliert, ist sichergestellt, dass sich in der Gruppe ein Experte bzw. eine Expertin zum Thema findet, welcher bzw. welche den Text zum anthropogenen Treibhauseffekt in Teilaufgabe 1.1 bearbeitet hat.

"Die Temperaturen schwanken seit Jahrhunderten, das ist völlig normal. Diese Hysterie ist lächerlich."

Es stimmt, dass es natürliche Klimaschwankungen gibt, aber die gegenwärtige Erwärmung ist signifikant schneller als jede bekannte natürliche Veränderung. Die Korrelation zwischen der mittleren Temperatur der Erdatmosphäre und dem CO₂-Anteil der Luft lässt sich über arktische Eisbohrkerne sehr lange zurückverfolgen. Der CO₂-Anteil der Atmosphäre ist außerdem seit den 1960er Jahren um ca. ein Drittel gestiegen, was die Keelingkurve klar darlegt.

"Ich erinnere mich an die Sommer in den 80ern, die waren genauso heiß. Nichts Neues hier!"

Einzelne, lokal heiße Sommer sind kein Indikator für den langfristigen Klimatrend. Was zählt, sind die globalen Durchschnittstemperaturen über längere Zeiträume. Langfristige Daten zeigen einen klaren Aufwärtstrend bei den globalen Temperaturen. Zudem sind Hitzewellen heute häufiger und intensiver als in den 1980ern.

"Die Konzentration von CO₂ in der Luft beträgt lediglich 0,04 %. Das ist viel zu wenig, um irgendeine Auswirkung auf die globale Temperatur zu haben."

Die Konzentration von CO₂ in der Luft beträgt tatsächlich 0,04 %, die Folgerung stimmt aber nicht. Bereits Arrhenius konnte mit seinem Klimamodell die Eiszeiten auf eine Halbierung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre zurückführen. Eine Verdopplung hingegen kann eine Erwärmung von 4 °C zur Folge haben.

"Diese sogenannten Wissenschaftler werden doch alle von der Regierung bezahlt. Glaubt nicht alles, was ihr lest."

Klimaforschung wird von einer Vielzahl von Organisationen finanziert, darunter Universitäten, unabhängige Forschungsinstitute, Regierungen und private Stiftungen. Die Freiheit der Lehre ist dabei gesetzlich verankert. Sogar die Forschungen des Mineralölkonzern Exxon belegen den menschengemachten Klimawandel. Nichtsdestotrotz ist es erst einmal ein guter Rat, nicht alles zu glauben, was man liest.

2.1	Baut zunächst den Versuch nach Anleitung (Material 2) auf und führt ihn durch.	S 2.1	E	K	B
-----	--	----------	---	---	---

Die Erfüllung des Standards zeigt sich dadurch, dass der Versuch gemäß Anleitung sicher aufgebaut und durchgeführt wurde sowie die Messdaten in Form einer Tabelle exportiert wurden. Die Beschäftigung mit der Simulation während der Wartezeit ist für den Standard unerheblich (siehe auch Didaktische Hinweise).

Die Tabelle kann in das Protokoll (Material 2) eingefügt werden oder es wird dort auf die entsprechende Datei verwiesen.

Lösungsbeispiel:

4. Beobachtung/Messwerte:

Drucke die Tabelle aus und klebe sie hier ein:

Zeit in h:min:s	Temperatur in °C
00:00:00	17,59
00:00:21	17,69
00:00:41	17,88
00:01:01	18,05
00:01:21	18,3
00:01:42	18,57
00:02:02	18,82
00:02:22	19,03
00:02:43	19,31
00:03:03	19,58
00:03:23	19,85
00:03:44	20,12
00:04:04	20,35
...	...
00:52:29	27,13
00:52:49	27,13
00:53:10	27,13
00:53:30	27,13
00:53:50	27,13
00:54:11	27,13
00:54:31	27,13

<p>2.2</p>	<p>Erstellt mithilfe eines geeigneten Tools oder Tabellenkalkulationsprogrammes ein Diagramm aus euren Messdaten (Temperatur auf der Ordinate, Zeit auf der Abszisse). Unterteilt den Messverlauf in sinnvolle Zeitabschnitte. Tragt die Zeitangaben in die Tabelle (Material 2) ein und klebt die Verlaufskarten (Material 3) an richtiger Stelle ein.</p>	<p>S</p>	<p>E 3.1</p>	<p>K</p>	<p>B</p>
-------------------	---	----------	------------------	----------	----------

Das Anwenden eines geeigneten Programmes zur Diagrammerstellung und gegebenenfalls auch die vorherige Aufbereitung der Messdaten in ein passgenaues Tabellenformat ist bereits ein Teil der Auswertung im Sinne des Standards E 3.1. Üblicherweise lassen sich die Messdaten in eine .csv-Datei exportieren. Es macht Sinn, die Datei erst mit einem Texteditor zu öffnen, um zu überprüfen, welches Trennzeichen verwendet wird (Semikolon oder Komma). Falls das Tabellenkalkulationsprogramm dieses Format nicht unterstützt, können die Zeichen im Texteditor über die Funktion „Suchen und Ersetzen“ schnell geändert werden.

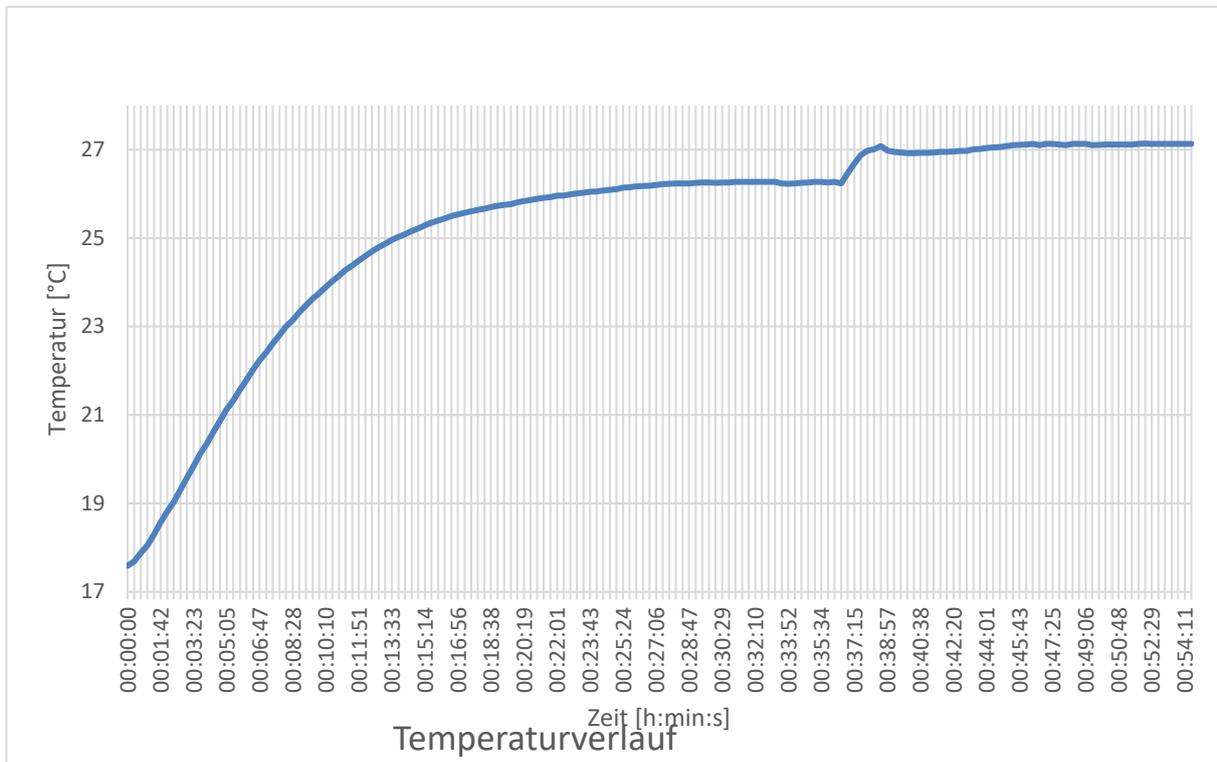
Für die Erfüllung des Standards müssen außerdem die am Messverlauf wesentlich beteiligten physikalischen Prozesse (im vorliegenden Fall hauptsächlich Gleichgewichtsprozesse) von den Lernenden identifiziert und die Erklärungen mit dem Diagramm korrekt in Zusammenhang gebracht werden. Durch die Vorgabe der Verlaufskarten fällt das eigene Formulieren der Erklärungen weg, weshalb der Standard hier nur im Ansatz erfüllt ist.

Lösungsbeispiel:

5. Auswertung/Ergebnis:

Drucke das Diagramm aus und klebe es hier ein:

Schneide die Verlaufskarten aus und klebe sie an richtiger Stelle ein:



0 min	Die Luft im Pappzylinder hat Raumtemperatur.
0 min – 30 min	Die Luft im Pappzylinder (sowie der Pappzylinder selbst) nimmt mehr Wärmestrahlung auf, als sie wieder abgibt. Die Temperatur erhöht sich.
30 min – 36,5 min	Es herrscht ein Strahlungsgleichgewicht. Die Temperatur der Luft ohne zusätzliches Treibhausgas beträgt ungefähr <u>36°C</u> .
36,5 min	Ein Stopfen wird vom Pappzylinder entfernt, damit über einen Schlauch CO ₂ eingeleitet werden kann. Das CO ₂ ist dabei kälter als die Luft im Zylinder.
36,5 min – 39 min	Die Luft im Pappzylinder (sowie der Pappzylinder selbst) nimmt mehr Wärmestrahlung auf, als sie wieder abgibt. Die Temperatur erhöht sich.
39 min – 45 min	Das beim Temperatursensor liegende kalte CO ₂ erwärmt sich schnell und steigt nach oben. Die kältere Luft sinkt nach unten. Nach und nach durchmischen sich die Gase und die Temperatur gleicht sich an.
ab 45 min	Es herrscht ein Strahlungsgleichgewicht. Die Temperatur der Luft mit zusätzlichem Treibhausgas beträgt ungefähr <u>38°C</u> .

5 Quellenangaben

◆ Material 1: In Anlehnung an:

Radium Girls:

- ◆ Quigley, A. (2011, 30. Oktober.). *After Glow – 90 Years Ago Workers At The Waterbury Clock Company Began Dying After Painting Radium On Clock Dials*. The Waterbury Observer. <https://web.archive.org/web/20141014065110/http://www.waterburyobserver.org/node/586>

Rauchen:

- ◆ LeMaistre, C. A., Shopland, D. R., Farber, E., Guthrie, E. H., Hamill, P. V. V. (2024). *Clearing the Air: The Untold Story of the 1964 Report on Smoking and Health*. University of California Health Humanities Press. <https://escholarship.org/uc/item/1f84x7hv>
- ◆ Rösseler, M. (2022, 27. Juni). *Zeitzeichen Podcast: 27. Juni 1957 - Kampagne in Großbritannien warnt vor Lungenkrebs durch Rauchen*. WDR. <https://www1.wdr.de/radio/wdr5/sendungen/zeitzeichen/zeitzeichen-qb-kampagne-rauchen-lungenkrebs-100.html>

Minamata-Krankheit:

- ◆ Grimm, K. (2017, 20. Dezember). *Minamata: Krämpfe, Psychosen, Tod - als das Gift aus dem Fluss kam*. Stern. <https://www.stern.de/gesundheit/minamata--das-gift-kam-aus-dem-fluss-7651954.html#:~:text=Minamata%20lebt%20auf%20verseuchter%20Erde,wurde%20in%20den%20Fluss%20geleitet>
- ◆ Österreichische Ärztezeitung. (2018, 25. September). *Horizonte: Die bittere Lehre von Minamata*. <https://aerztezeitung.at/2018/oaz-artikel/service/horizonte-die-bittere-lehre-von-minamata/>
- ◆ Ziegler, M. (2004, 23. März). *Japanisches Gericht weist Entschädigungsansprüche von Betroffenen der Minamata-Krankheit ab*. Sumikai. [https://sumikai.com/nachrichten-aus-japan/japanisches-gericht-weist-entschaedigungsansprueche-von-betroffenen-der-minamata-krankheit-ab-340164/#:~:text=Aufgrund%20strenger%20Regierungsvorschriften%20steigt%20die,15.854%20Euro\)%20zu%20gew%C3%A4hren](https://sumikai.com/nachrichten-aus-japan/japanisches-gericht-weist-entschaedigungsansprueche-von-betroffenen-der-minamata-krankheit-ab-340164/#:~:text=Aufgrund%20strenger%20Regierungsvorschriften%20steigt%20die,15.854%20Euro)%20zu%20gew%C3%A4hren)

Blei im Trinkwasser:

- ◆ Göhlich, V. (2022, 19. Juni). *USA: Flint's Wasserkrise und das Blei im Trinkwasser*. Urbanauth. <https://urbanauth.de/Artikel/2022/usa-chronologie-von-flints-michigan-wasserkrise/>
- ◆ Umweltbundesamt. (2024, 16. Juli). *Bleirohre: Blei im Trinkwasser ist gesundheitsgefährdend*. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/essen-trinken/blei-im-trinkwasser#wie-sie-bleileitungen-erkennen-und-welche-rechte-sie-haben>

Anthropogener Treibhauseffekt:

- ◆ Berkeley Earth. (2024). *10,000 Years of Carbon Dioxide*. <https://berkeleyearth.org/dv/10000-years-of-carbon-dioxide/>
- ◆ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2024) *Abkommen von Paris*. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-abkommen-von-paris.html>

- ◆ Europäischer Rat. (2024, 27. Januar). *Maßnahmen der EU gegen den Klimawandel*. <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/climate-change/>
- ◆ Holy, L. (2012, 11. November). *Klimapionier Joseph Fourier: Der Entdecker des Treibhauseffektes*. Spiegel. <https://www.spiegel.de/wissenschaft/klimapionier-joseph-fourier-der-entdecker-des-treibhauseffektes-a-7314047d-43de-4c80-abe6-f187c330137d>
- ◆ Lawrence, M. K. (2021). *The Physics of climate Change*, Post Hill Press.
- ◆ Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (2021). *Summary for Policymakers*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
- ◆ NASA. (2024, Juli). *Carbon Dioxide*. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=111>
- ◆ Ritchie, H., Rosado, P., Roser, M. (2024). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- ◆ Zauner, D. (2023, 12. Januar). *Klimabetrug: Exxon wusste alles*. Klimareporter. <https://www.klimareporter.de/gesellschaft/exxon-wusste-alles>
- ◆ Material 2: In Anlehnung an: Scorza, C. (2022, August). *Aktivität 5: Die Wirkung von Treibhausgasen*. LMU Klimawandel Schule. <https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-5-die-wirkung-von-treibhausgasen>
- ◆ Abbildung 1: Copyright IQB e. V. (2024). *Möglicher Aufbau zur nachbildung des Treibhauseffektes mit dem Klimakoffer der LMU*. Lizenz: Creative Commons (CC BY). Volltext unter: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de> [In Anlehnung an: Der LMU-Klimakoffer. (o. D.). *Klimawandel: Verstehen und Handeln*. <https://klimawandel-schule.de/de/der-lmu-klimakoffer>]