



CO₂ und der Treibhauseffekt

Dossier: Hands-on Experimenten zum Thema Klimawandel aus
dem Wissens°raum

Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels sind längst in unserem Alltag spürbar und die Öffentlichkeit diskutiert kontrovers und breit darüber, ob und wie er stattfindet und ob wir etwas gegen die globale Erwärmung unternehmen sollen. Aufgrund der gesellschaftlichen Brisanz des Themas, aber auch weil die Erderwärmung eine wissenschaftlich faszinierende Angelegenheit darstellt, haben wir uns einige Aktivitäten einfallen lassen die das Wissen über die Wirkungsmechanismen hinter dem Klimawandel stärken sollen.

Um die gesamte Bandbreite des Themas darzustellen, ist es wichtig, sowohl Ursachen als auch Folgen und Lösungsansätze zu beleuchten. Aufgrund des enormen Umfangs dieses Themas widmen wir uns in diesem Dossier den naturwissenschaftlichen Grundlagen zum Thema **CO₂ und der Treibhauseffekt**.

Dies ist eine Serie an aufbauenden Experimenten, die je nach Detail 1-2 Stunden beanspruchen. Die einfachen Experimente stellen ein Verständnis für das Gas CO₂ als solches in unserem Ökosystemen und der Gesellschaft her und wie es die Temperatur auf der Erde beeinflusst.

Die verschiedenen Aktivitäten sind allesamt entwickelt und Großteils erprobt für den Einsatz im Wissens°raum, einem außerschulischen Ort zum niederschweligen Experimentieren, Forschen und Lernen für Jung und Alt. Sie sind aber auch für den Einsatz im Schulunterricht, vor allem in naturwissenschaftlichen und technischen Fächern geeignet.

Aktivitäten - Überblick

Einleitung.....	2
Aktivitäten - Überblick.....	3
CO ₂ und der Treibhauseffekt.....	4
1. CO ₂ Herstellen	6
2. CO ₂ wiegen	8
3. CO ₂ im Wasser lösen	11
4. Flammen ersticken	14
5. Ausatemluft-Untersuchung	16
6. Treibhauseffekt-Experiment (mit CO ₂)	19
7. Treibhauseffekt Experiment (vereinfacht mit Gegenständen)	24
8. Rückstrahlungs-Experiment und Albedo	27
Impressum.....	29

CO₂ und der Treibhauseffekt

Kurzbeschreibung

Der Klimawandel ist ein großes Problem, verursacht durch die auf Menschen zurückzuführende Emission von Treibhausgasen, allen voran natürlich Kohlenstoffdioxid, kurz als CO₂ bezeichnet. Wenn wir an Lösungen für die Klimakrise arbeiten wollen ist es hilfreich, erstmal zu verstehen, womit wir es zu tun haben. Diese Sammlung an Experimenten ist eine erste Annäherung an das unsichtbare Treibhausgas Kohlenstoffdioxid, welches unser Klima so stark beeinflusst.

Eckdaten

- **Thema:** Eigenschaften von Gasen und im speziellen von Kohlenstoffdioxid kennen lernen, Den Treibhaus Effekt beobachten und messen.
- **Vorbereitung:** Die 5 Experimente zu Kohlenstoffdioxid als Gas sind gering vom Aufwand und können großteils mit Haushaltsutensilien durchgeführt werden.
Die weiterführenden Experimente erfordern bereits etwas mehr Vorwissen und Geräte die (wahrscheinlich) nicht jede*r Zuhause hat (bspw. Baustrahler und Thermoelement Messgeräte)
- **Dauer:** insgesamt 1,5 - 2 Stunden.
Zeit für eine fachliche Auseinandersetzung sollte zusätzlich eingeplant werden, vor allem für Experiment 6-8.

Beschreibung

CO₂ ist ein unsichtbares Gas, mit einem vermeintlich schlechten Ruf. Es wird vor allem mit Luftverschmutzung, Abgasen und dem Treibhauseffekt assoziiert. Dabei ist CO₂ genauso gut eines der wichtigsten Bestandteile der Atmosphäre für unser Leben und das aus verschiedenen Gründen. CO₂ ist kein bisschen schmutzig, sondern die Grundlage für die Photosynthese von Pflanzen und damit auch für unsere Nahrungsquelle. Wir atmen genauso CO₂ aus, wie Autos CO₂ emittieren, weil wir aus Verbrennungsprozessen im Körper Energie gewinnen. Und wenn es den Treibhauseffekt nicht gäbe, wäre die Erde ohnehin ein riesiger unbewohnbarer Eis-Ball. Und all diese wunderbaren Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid kommen für das Leben auf der Erde so schwer zu tragen, obwohl CO₂ derzeit nur etwas mehr als 400ppm der Atmosphäre ausmachen. Das bedeutet, nur 0,04% der Luft ist Kohlendioxid. Diese Versuchsreihe soll Kohlenstoffdioxid ein wenig entmystifizieren und den schlechten Ruf beseitigen.

Die Experimente sind aufeinander aufbauend und sollten daher sinnvollerweise in der Reihenfolge des Dossiers durchgeführt werden. Die Versuche an sich sind relativ einfach und auch intuitiv verständlich, lassen sich aber altersgerecht mit sehr viel chemischen, physikalischen und biologischen Hintergrundinformation aufbereiten. Der fachliche Hintergrund dieser Themen ist in diesem Dokument nur auf die notwendigsten klimarelevanten Informationen beschränkt. Für eine vertiefte Auseinandersetzung sind zusätzliche Ressourcen notwendig.

Zielgruppe

Ab welchem Alter Kinder mit dem Klimawandel in Berührung kommen und darüber auch diskutieren können ist sehr von ihrem Hintergrund abhängig. Kinder im Volksschulalter haben aber jedenfalls Spaß an den Experimenten und können etwas über Gase lernen, auch wenn für einige das Konzept des Klimawandels noch schwerer zu verstehen ist.

Ab der Sekundarstufe 1 ist es Jugendlichen in der Regel möglich eine Verbindung zwischen den Eigenschaften von CO₂ und seine Bedeutung für die Klimaerwärmung herzustellen. Hier eignet sich dieses Set an Experimenten sehr gut.

In der Sekundarstufe 2 können die Experimente inhaltlich vertieft werden um auch Konzepte wie die allgemeine Gasgleichung, Verbrennungsprozesse und Redoxreaktionen anhand der Beispiele zu behandeln oder wiederholen.

Vermittlungsziele

Die ersten 5 Experimente rund um **CO₂ als Gas und den Kohlenstoffkreislauf** stellen einen positiven Bezug zu Kohlenstoffdioxid her und weckt das Interesse an diesem Treibhausgas, welches vor allem als Abgas ein Begriff ist. Es wird ein Verständnis für die Wichtigkeit von CO₂ für das Ökosystem auf der Erde und wie alle Lebewesen mit dem Kohlenstoffkreislauf verbunden sind, geschaffen.

Die darauffolgenden Aktivitäten veranschaulichen, wie der Treibhauseffekt funktioniert, und dass Kohlenstoffdioxid einerseits, aber auch die Oberflächenbeschaffenheit für die Temperaturbilanz der Erde, eine Rolle spielt. Ziel ist es zu zeigen, dass die Erwärmung nicht sehr kompliziert, aber sehr spannend ist und dass obwohl CO₂ unsichtbar ist, wir selbst den Effekt messen können. Es festigt damit auch das Vertrauen in die Wissenschaft allgemein und in die Erkenntnisse aus der Klimaforschung im speziellen.

Durch die selbstständige Durchführbarkeit der Experimente wird einerseits Faszination und Lust an dem Thema geweckt, aber auch das Selbstvertrauen in wissenschaftlichem Arbeiten gestärkt. Da die erlangten Erkenntnisse einiger Experimente relevant für darauffolgende Experimente sind, wird zusätzlich systematisches Denken gefördert.

1. CO₂ Herstellen

Es wird mit 2 Methoden (Essig + Backpulver / Brausetabletten + Wasser) CO₂ selbst hergestellt. Weiters kann auch CO₂ aus einem SodaStream entnommen werden. Diese Methoden zur Gewinnung von CO₂ sind essentiell für die darauffolgenden Experimente.

- **Thema:** Herstellung von CO₂ (ohne Verbrennung)
- **Vorbereitung:** Aufwand gering
- **Dauer:** 10 min

Materialien

- 2 Plastikfläschchen (z.B. PET 0,5 l)
- Luftballon
- Trichter
- Backpulver oder Natron
- Essig (oder eine andere Säure)
- Brausetabletten
- Wasser

Beschreibung

Prinzipiell stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, um CO₂ zu erzeugen. Hier werden zwei Methoden vorgestellt: Brausetabletten in Wasser lösen oder Backpulver und Essig mischen. Beide Methoden sind sehr einfach durchzuführen und basieren auf demselben Prinzip. CO₂ entsteht beim Mischen von einer Säure mit Carbonat (Chem. Summenformel für Carbonat: CO₃) welche Bestandteile in Essig und Backpulver beziehungsweise auch in Brausetabletten vorhanden sind.

Durchführung Variante 1:

Zunächst eine Packung Backpulver in einen Luftballon füllen (ein Trichter hilft dabei sehr) und einen Schluck Essig in die Flasche geben. Danach den Luftballon über die Flasche stülpen und Backpulver somit in den Essig kippen. Der Luftballon steckt nun verkehrt auf der Flasche und das Gemisch beginnt zu schäumen. Jede der kleinen und großen Gasbläschen in der Flüssigkeit und im Schaum ist mit CO₂ gefüllt. Das gasförmige Kohlendioxid (CO₂) benötigt mehr Volumen als das Carbonat (CO₃) in festem Zustand und bläst daher den Luftballon auf.

Durchführung Variante 2:

Eine kleine Wasserflasche wird mit Wasser etwa bis zur Hälfte gefüllt. Danach werden 2-3 Brausetabletten hineingegeben und die Flasche wieder verschraubt.

Zuerst schäumt das ganze Gemisch sehr. Jede der kleinen und großen Gasbläschen in der Flüssigkeit und im Schaum ist mit CO_2 gefüllt. Nach dem Zuschrauben wird das Schäumen bald aufhören, weil der Druck in der Flasche schnell steigt. Das CO_2 will entweichen, hat aber keinen Platz in der Flasche und bleibt deswegen im Wasser gelöst. Analog dazu: Blubberblasen in Cola oder in Mineralwasser sieht man erst nach dem Aufschrauben, wenn der Druck nachlässt. Die Flasche wird sehr hart werden. Das ist wegen dem Überdruck, den das entstehende CO_2 erzeugt. Wer sich traut, kann die Flasche später wieder aufschrauben. Je nachdem wie voll sie ist und der Anzahl der Tabletten wird sie übergehen und die umstehenden Personen anspritzen.



Inhaltliche Schwerpunkte

- Wie kann ich CO_2 erzeugen (Carbonat und Säure)
- Die Eigenschaften von CO_2 (unsichtbar, geruchlos etc.) verdeutlichen
- Unterschiedliche Phasen von Materie (gasförmig, flüssig und fest) lassen sich vergleichen
- Thematisierung und Veranschaulichung von Gasdruck (z.B. Aufblasen des Ballons, Druck in Flasche)

Theoretische Hintergrundinformationen

Die chemische Reaktion, die bei diesem Experiment abläuft, ist relativ komplex. Wichtig ist vor allem Folgendes: Sowohl in Brausetabletten als auch in Backpulver sind Karbonate oder Hydrogencarbonate. Carbonat ist ein Feststoff mit der Summenformel CO_3 und kommt immer in Verbindung mit anderen Elementen vor. Kalkstein ist z.B. ein Karbonat (CO_3) mit Kalzium (Ca) mit der Summenformel CaCO_3 , also Kalziumcarbonat. Das Gestein Dolomit ist ähnlich ein Kalzium-Magnesium-Carbonat mit der Formel $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Das Backtriebmittel Natron ist reines Natriumhydrogencarbonat NaHCO_3 . Ein Carbonat kann sich in Wasser lösen und dabei Kohlendioxid (CO_2) freisetzen, wenn es mit einer Säure in Verbindung kommt. Wir verwenden

die Säure aus dem Essig. In Brausetabletten ist bereits eine Säure als Feststoff zugesetzt. **Tipp:** seht euch die Inhaltsstoffen von Essig, Backpulver und Brausetabletten genau an.

In der Natur: Dieser Prozess des Lösens von Carbonaten spielt auch in der Natur, beispielsweise bei der Kalkstein Verwitterung und dem Bilden von Karst Quellen in unseren Kalkgebirgen eine Rolle.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Kinder und Jugendliche haben manchmal Schwierigkeiten das Konzept von Gasen zu verstehen. Dieses Experiment kann auch helfen darüber zu reflektieren, was ist eigentlich ein Gas, wie fühlt es sich an, welche Eigenschaften hat es, welche anderen Gase kennen wir noch (z.B. Sauerstoff, Helium, Luft) etc.

2. CO₂ wiegen

Mit einer einfachen gebastelten Balkenwage und Luftballons kann der Gewichtsunterschied zwischen Luft und CO₂ festgestellt werden. Ein Ballon wird mit Luft, der andere mittels eines SodaStreams mit CO₂ gefüllt und gewogen.

- **Thema:** Dichte von Gasen, insbesondere die höhere Dichte von CO₂ im Vergleich zu Luft
- **Vorbereitung:** Aufwand mittel
- **Dauer:** 10 Minuten

Materialien

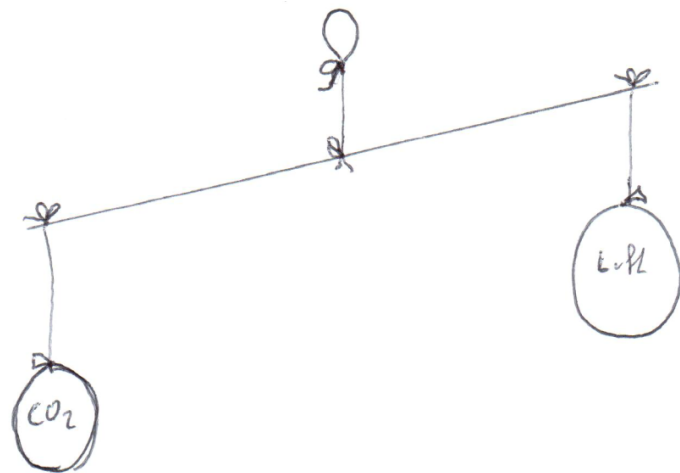
- Luftballons
- 1 Kohlensäure-Sprudel-Gerät
- 1 Luftballonpumpe
- Schnur
- Stab
- Kreppklebeband (kann hilfreich sein um Verrutschen zu vermeiden)
- Wasserfester Filzstift (um Ballons zu beschriften)
- eventuell Helium
- eventuell ein Periodensystem der Elemente

Beschreibung

Dies ist ein weiteres Experiment, um das Konzept von Gas besser kennen zu lernen. Es geht vor allem um die Eigenschaft der Dichte, welche häufig fälschlicherweise als Gewicht bezeichnet wird, auch wenn diese Vereinfachung je nach Altersgruppe sehr sinnvoll sein kann. Um die verschiedenen Dichten von Gasen darzustellen, werden Luftballone mit folgenden Gasen gefüllt:

- **Luft:** Durch Aufblasen oder Luftballonpumpe
- **CO₂:** Durch Verwendung des SodaStreams (SodaStream Flasche ist mit CO₂ gefüllt)
- **Helium:** Optional, falls eine Heliumflasche verfügbar ist (gibt es auch in kleinen Gebinden in Spielwarenläden).

Es empfiehlt sich, die Ballons gleich groß aufzublasen und diese nach dem Aufblasen mit einem Filzstift/Edding zu beschriften. Im Weiteren sollte ermittelt werden, welches Gas schwerer ist (eigentlich eine höhere Dichte hat). Hierfür kann man einerseits die Teilnehmer*innen schätzen lassen, zu einer eindeutigen Lösung kommt man aber schön, wenn man eine ganz einfache Balkenwaage baut. Einfach Luftballone links und rechts auf einen Stab binden und auf einer Schnur in der Mitte aufhängen (siehe Skizze). Der schwerere CO₂ Ballon zieht nach unten und der andere Luftballon wird deutlich nach oben gehoben.



Inhaltliche Schwerpunkte

- Dichte von verschiedenen Gasen (Gewicht)
- CO₂ ist schwerer als Luft und sinkt daher zu Boden. Wichtige Eigenschaft für die weiteren Experimente.

Theoretische Hintergrundinformationen

Warum sind Gase eigentlich unterschiedlich schwer? Die Lösung kann in den Chemischen Summenformeln gefunden werden: $\text{He} < \text{N}_2 < \text{O}_2 < \text{CO}_2$ (Luft besteht hauptsächlich aus N_2 ca. 78% und O_2 ca. 21%). Ein erster Indikator ist sicherlich die Anzahl an Atomen die in einem Gasmolekül vorhanden sind. Sehr wesentlich ist aber auch das Gewicht eines Atoms welches für jedes Element durch die fixe Anzahl an Protonen und Neutronen (mit Ausnahme der Isotope)

feststeht. Sauerstoff (Oxygen) hat 8 Protonen und Neutronen, also um jeweils 1 mehr als Stickstoff (7 Protonen und Neutronen) und ist daher auch ein bisschen schwerer.

Mittels eines Periodensystems der Elemente lässt sich ausgezeichnet abschätzen welche Gase schwerer oder leichter sind. Für die Elemente sind die jeweiligen Massezahlen angegeben. Addiert man die Massen aller in einem Molekül vorkommenden Atome hat man das Gewicht von einem Gasmolekül. Je mehr Protonen und Neutronen insgesamt in einem Gasmolekül sind, desto größer ist auch die Dichte des Gases. Grund dafür ist, dass die Anzahl an Gasmolekülen pro Volumen für alle Gase beinahe identisch ist, obwohl ihre Molekül Massen sich um ein Vielfaches unterscheiden. Das Molvolumen eines Gases ist immer in etwa $22 \text{ dm}^3/\text{mol}$. Das bedeutet das 1 mol eines Gases ($1 \text{ mol} = 6,022 \times 10^{23}$ Teilchen) immer in etwa 22 Liter Volumen benötigt. Beispielsweise ist das typische Feuerzeug Gas Propan (C_3H_8) in etwa 10x so schwer wie Helium (He). Das Volumen pro Teilchenanzahl unterscheidet sich dennoch nicht.

In den meisten Fällen wird es nicht notwendig sein im Detail auf die Chemischen Hintergründe einzugehen. Die Erkenntnis, dass CO_2 schwerer als Luft ist genügt fürs erste völlig um mit der Experimente Serie weiter zu machen!

Soda-Sprudel-Geräte: Soda Sprudelgeräte tun im Wesentlichen nichts anderes als reines CO_2 mit Überdruck in das Wasser zu pumpen. Wenn sich CO_2 im Wasser löst, entsteht dabei Kohlensäure. Die Kohlensäure gast allerdings mit der Zeit wieder aus und CO_2 gelangt wieder in die Luft. Die Blubberblasen in Sodageutränken (also auch in Limonaden) sind also CO_2 Bläschen. Das reine CO_2 aus der SodaStream Gasflasche können wir für das Experiment verwenden.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Eine häufig gestellte Frage: Warum setzt sich das gesamte CO_2 in der Luft denn nicht am Boden ab, wenn es eine höhere Dichte hat? Die Winde auf der Erde reichen bei weitem aus um das CO_2 auf der ganzen Welt annähernd gleichmäßig zu verteilen. Es gibt natürlich temporär und lokal leichte Unterschiede (z.B.: in einem Industriegebiet kann sich die CO_2 Konzentration schon etwas erhöhen), aber dies gleicht sich sehr schnell aus. In der Regel haben wir in der Atmosphäre eine sehr homogene CO_2 Verteilung.

Anders ist dies in windstillen Räumen. Beispielsweise in Weinkellern wo Alkohol gekehrt wird. Bei der Alkoholgehung entsteht CO_2 , welches sich am Boden des Weinkellers absetzt.

Weiterführende Ideen

Andere Gase, die verwendet werden können um die Dichte zu beobachten: Helium, Methan (Erdgas), Feuerzeugbenzin (ist in Feuerzeug und in Nachfüll-Druckbehältern flüssig, wird beim entweichen aber Gasförmig), Wasserstoff.

Wer eine sehr feine Wage zur Verfügung hat, kann auch die tatsächlichen Gewichtsunterschiede genauer Messen und analysieren.

3. CO₂ im Wasser lösen

In diesem Experiment wird eine Eigenschaft von CO₂ praktisch sichtbar gemacht. Die Löslichkeit von Gasen in Wasser, im Speziellen hier von CO₂.

- **Thema:** Löslichkeit von CO₂ in Wasser
- **Vorbereitung:** Aufwand gering
- **Dauer:** 10 Minuten

Materialien

- 2 dünnwandige Plastikflasche 1,5l
- Spritzfläschchen
- Brausetabletten und Wasser oder Backpulver und Essig
- Trichter
- Kreppklebeband
- Stift oder Edding zum Beschriften

Beschreibung

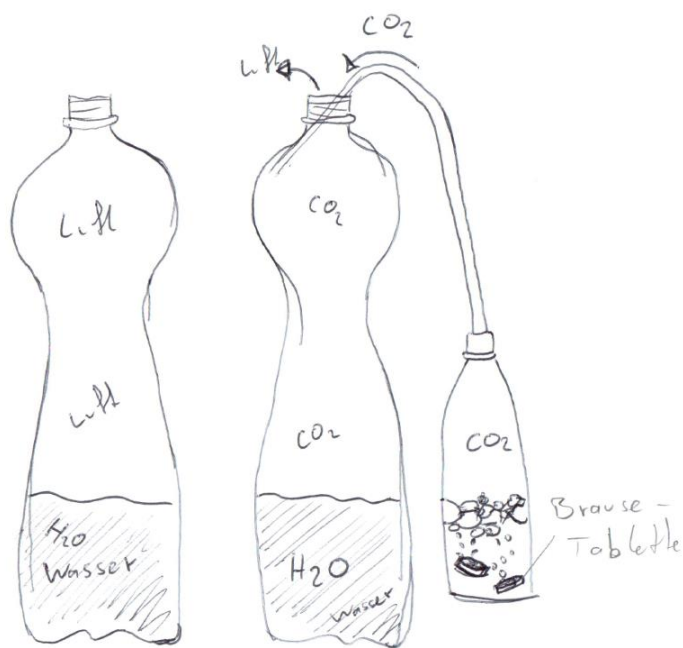
Flasche mit 1/3 Wasser füllen. Nachfrage: Wie voll ist die Flasche? Was befindet sich in der Flasche? Die Flasche ist genau genommen nicht nur zu einem Drittel mit Wasser sondern auch mit Luft „ganz voll“ gefüllt. Die Luft in der Flasche wird nun aber durch CO₂ ersetzt, welches wir in der Spritzflasche herstellen. CO₂ stellen wir mit Hilfe von Brausetabletten her. Bei der Lösung von Brausetabletten vermischt sich das jeweilige Carbonat (Kalzium oder Magnesium-Carbonat, CaCO₃ bzw. MgCO₃) mit dem Säuerungsmittel (in der Regel Zitronensäure). Dadurch entsteht viel Kohlensäure, welche den Sprudel erzeugt. Die aufsteigenden Gasblasen sind mit CO₂ gefüllt. Bei 2-3 Tabletten entsteht genügend CO₂, dass es über das Spritzrohr der Spritzflasche in die Plastikflasche geleitet werden kann. CO₂ ist schwerer als Luft (siehe Experiment 2) und sinkt daher in der Plastikflasche ab und bleibt dort. Luft wird dabei aus der Flasche verdrängt.

Danach die Flasche gut zuschrauben, stark schütteln. Die CO₂ Flasche wird ihre Form verändern (einschrumpfen), da es sich zum Teil in Wasser löst und dort weniger Platz braucht.

Zur besseren Veranschaulichung kann der Versuch mit einer Kontrollflasche, die tatsächlich mit Luft und Wasser gefüllt ist, durchgeführt werden. Die Kontrollflasche verändert beim Schütteln ihre Form nicht.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Löslichkeit von CO₂ in Wasser
- Versauerung der Ozeane: Das gelöste CO₂ im Wasser bildet Kohlensäure



Theoretische Hintergrundinformationen

Löslichkeit von Gasen: CO_2 einerseits, aber auch andere Gase wie Sauerstoff und Stickstoff (gemeinsam ca. 99% der Atmosphäre) sind wasserlöslich. Wieviel Gas im Wasser gelöst ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab (Temperatur, Druck, Molekülstruktur) und auch von dem sogenannten Partialdruck in der Atmosphäre. Bei sich verändernden Anteilen des Gases in der Atmosphäre, wie zum Beispiel beim Anstieg des CO_2 Gehalts, erhöht sich der Partialdruck von CO_2 und ein größerer Anteil löst sich dadurch auch im Wasser. In der CO_2 gefüllten Flasche hat sich der CO_2 Partialdruck erhöht und ein Teil des CO_2 löst sich im Wasser was die Flasche einschrumpfen lässt. Darüber hinaus ist aber CO_2 ganz prinzipiell aufgrund seiner Moleküleigenschaften besser löslich als O_2 und N_2 .

Wasser ist in der Regel mit Luft gesättigt, weil es immer irgendwo mit Luft in Berührung kommt. In der luftgefüllten Flasche verändert sich der N_2 und O_2 Anteil nicht im Vergleich zur herkömmlichen Umgebung. Es kann sich keine zusätzliche Luft lösen. Darum bleibt die Flasche mit Luft und Wasser formstabil.

Kohlensäuregetränke, Temperatur und Druck: Die Löslichkeit von CO_2 und anderen Gasen ist nicht konstant. Die Löslichkeit erhöht sich bei sinkender Temperatur des Wassers und mit steigendem Druck. Daher kann man in einer Druckflasche wie bei den Soda Sprudel Geräten das Wasser mit CO_2 übersättigen, da die Flasche im Gerät unter Druck steht. Bei Normaldruck (nach öffnen der Sodaflasche) perlt dann das überschüssige CO_2 wieder aus. Es entstehen die typischen CO_2 Bläschen von Sodageetränken. Ist eine Soda- oder Limonadenflasche zu warm, dann „fährt“ sie wahrscheinlich aus (spritzt beim Öffnen) weil die CO_2 Löslichkeit durch die Wärme verringert wird und ganz viel CO_2 auf einmal aus perlt wenn der Druck beim Öffnen nachlässt.

CO_2 löst sich im Meer: Diese Löslichkeit von CO_2 hat auch etwas mit dem Klimawandel zu tun. Das Meer ist nämlich tatsächlich der größte CO_2 Speicher und damit „Klimaschützer“ unseres Planeten. Ungefähr die Hälfte des gesamten vom Menschen verursachten CO_2 Ausstoßes löst sich nämlich im Meer. Dies verlangsamt die Klimaerwärmung ist aber für die Ozeane dramatisch, weil diese versauern, da Kohlendioxid gelöst in Wasser Kohlensäure bildet. Der pH-Wert des Meeres ist bei etwa 8 und sinkt durch die menschliche CO_2 Emissionen im Zehntelbereich. Die steigende Kohlendioxid Konzentration im Wasser verringert auch die Verfügbarkeit von Kalk (Kalziumcarbonat, $CaCO_3$) im Meer. Vor allem für Meeresbewohner, die auch Kalkschalen bilden (Muscheln, Korallen und Kalkalgen) ist dies eine Gefährdung und damit auch für die Nahrungsketten und Ökosysteme. In welcher Form CO_2 sich im Wasser befindet (gelöstes Kohlendioxid, Kohlensäure oder Carbonat) ist von vielen chemischen (Salzkonzentration, pH Wert), biologischen (Kalkalgen) und physikalischen (Temperatur) Faktoren abhängig und alles andere als trivial. Diejenigen, die es genau wissen wollen, könnten unter anderem folgende Links helfen:

[https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff im Ozean](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff_im_Ozean)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kohlens%C3%A4ure>

Vereinfachung: Das Lösen von CO_2 ist eine chemisch komplexe Materie. In den meisten Fällen genügt es jedoch sich vorzustellen, dass CO_2 sich in Wasser lösen kann und dabei Kohlensäure bildet was weiters zu einer Versauerung führt.

Verwechslungsgefahr: Die Versauerung der Ozeane sollte nicht direkt mit der Klimaerwärmung in Verbindung gebracht werden. Die Erwärmung verursacht keine Versauerung, sondern der Kohlenstoffdioxid Anstieg in der Atmosphäre ist die Ursache für die beiden getrennten Phänomene: Die Klimaerwärmung und die Versauerung der Ozeane. Eine problematische Kopplung gibt es allerdings durch die veränderte Löslichkeit in Wasser mit steigender Temperatur. Wird die Erde wärmer und damit auch das Wasser, kann es weniger CO_2 lösen und die Pufferwirkung des Ozeans wird reduziert.

Bezugsquellen

Aus: Naturwissenschaftliche Experimente und Modellversuche zum Thema "Klima und Klimaproblematik", Erweiterung zu Versuch 12, Klaus Morgenstern, Bernd Blume IG Kiel-Friedrichsort 1997: <https://igf.de/abi/igfonline/klima/vers1.htm#v2>

4. Flammen ersticken

Zwei sehr einfache Experimente zur Veranschaulichung, dass Verbrennungsprozesse Sauerstoff aus der Luft brauchen und Feuer „erstickt“, wenn Sauerstoff verdrängt wird (z.B. von CO₂).

- **Thema:** Verbrennungsprozesse mit Sauerstoff, Brennstoff und Kohlenstoffdioxid als Abgas
- **Vorbereitung:** Aufwand gering
- **Dauer:** 10 Minuten.
Je nach Tiefe der Diskussion über die Verbrennungsprozesse auch wesentlich länger, bis zu 20 Minuten

Materialien

- Teelicht
- Langes Feuerzeug oder lange Zündhölzer
- Leeres Glas
- Spritzflasche
- Brausetabletten + H₂O oder Essig + Backpulver + Trichter

Beschreibung

Versuch 1:

Teelicht anzünden und Glas darüberstülpen. Die Kerze wird noch einige Sekunden weiterbrennen, solange, bis nicht mehr genügend Sauerstoff vorhanden ist.

Versuch 2:

Kerze in einem schmalen hohen Gefäß anzünden (oben offen) und mit CO₂ auslöschen. CO₂ kann wieder in Spritzflasche (mit kurzem Rohr) und Brausetabletten erzeugt werden. CO₂ in das Gefäß mit brennender Kerze leiten. Wir erinnern uns: CO₂ ist schwerer als Luft und sinkt in das Glas. Wer den Versuch korrekt durchführt, wird nicht einmal eine Chance haben, die Kerze wieder anzuzünden, bevor man das angesammelte CO₂ nochmal ausleert. CO₂ hat den Sauerstoff verdrängt und verhindert so die Verbrennung.



Versuch 1



Versuch 2

Inhaltliche Schwerpunkte

- Verbrennung von Kohlebasierten Brennstoffen (Wachs, Erdöl, Holz) mit Sauerstoff zu CO_2
- Ersticken von Flammen mit CO_2

Theoretische Hintergrundinformationen

Verbrennungsprozesse, vereinfacht: Beim Verbrennen einer Kerze oxidiert der Sauerstoff (O_2 , Oxygen) das Wachs, wobei Energie frei wird. Das Wachs besteht zum Großteil aus Kohlenstoff (C, Carbon) und Wasserstoff (H, Hydrogen). Ein typischer Wachsbestandteil ist die Montansäure $\text{C}_{28}\text{H}_{56}\text{O}_2$. Bei der Verbrennung wird Wachs mit Sauerstoff in Verbindung gebracht und zu CO_2 und H_2O verbrannt, was den Sauerstoff verbraucht. Dabei wird Energie in Form von Licht und Wärme frei. Der gleiche Prozess findet in einem Verbrennungsmotor (Benzin- und Dieselfahrzeuge), am Grillen, Lagerfeuer etc. statt. Der Kohlenstoff (C) aus Brennstoff und Sauerstoff (O_2) ergibt CO_2 . Die meisten Brennstoffe sind Kohlenwasserstoffe (alle Erdölprodukte). Darum ist neben Kohlenstoff auch Wasserstoff vorhanden. Der Wasserstoff gibt beim Verbrennen zu Wasserdampf (H_2O) genauso Energie ab.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Je nach Alter und Aufnahmefähigkeit der Teilnehmer*innen ist es hilfreich vereinfacht die chemischen Elemente und Abkürzungen aufzuschreiben, eine Kerze zu zeichnen und mit Pfeilen den Prozess zu beschreiben. Dass das **C** im Wachs sich beim Verbrennen mit 2 **O** aus der Luft zu **CO_2** verbindet ist dann gar nicht mehr so schwer zu verstehen.

Wenn es Windstill ist und niemand in das Gefäß gepustet hat, dann findet in der Regel kein Gasaustausch im Glas statt und das CO_2 bleibt weiterhin im Glas. Für großes Staunen sorgt der Versuch die Kerze im Glas nochmal anzuzünden. Am besten nimmt man dafür ein langes Streichholz. Sobald man ein brennendes Streichholz oder Feuerzeug in das Glas hält, geht dieses wieder aus, weil es noch immer mit CO_2 gefüllt ist.

Bezugsquellen

Adaptiert von Verein "energie:autark Kötschach-Mauthen", Lerngarten der Erneuerbaren Energien
Experiment S7 und S10

https://www.energie-autark.at/show_content2.php?s2id=49

5. Ausatemluft-Untersuchung

Auch der Mensch verbrennt im Körper Sauerstoff und Kohlenstoff (aus der Nahrung) zu CO₂. Mit diesem Versuch können wir nachweisen, dass unsere Ausatemluft erhöhten CO₂ Gehalt im Vergleich zur Einatemluft hat. Menschen atmen dasselbe Abgas aus wie Autos.

- **Thema:** Verbrennungsprozesse in biologischen Organismen, Atmung, Kohlenstoffkreislauf
- **Vorbereitung:** Aufwand mittel
- **Dauer:** 10-15 Minuten.

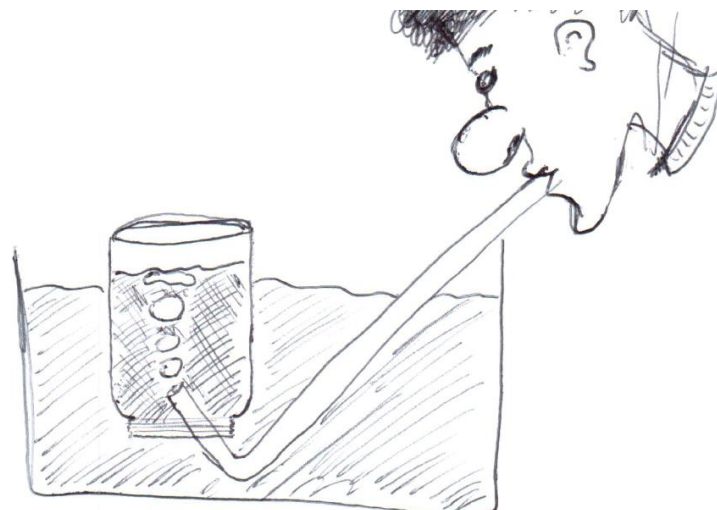
Materialien

- 1 Wasserbecken
- 1 Schraubglas
- 1 Strohhalm (mit biegbarem Ende)
- Lange Zündhölzer

Beschreibung

Ein geöffnetes Glas mit Wasser füllen und im Becken umdrehen, sodass das Glas mit Wasser gefüllt ist, aber kopfüber im Wasser steht. Das biegbare Ende des Strohhalmes von unten in das Schraubglas geben. Ca. 15 Sekunden die Luft anhalten und dann durch den Strohhalm in das Schraubglas ausatmen. Die Luft sollte im Wasser so aufsteigen, dass es das Wasser im Glas verdrängt. Wenn das Glas voll mit Atemluft ist, den Schraubdeckel auf das noch immer kopfüberstehende Glas geben, um die Ausatemluft gefangen zu halten. Das Glas anschließend wieder aus dem Wasserbecken herausnehmen und aufrecht hinstellen.

Zündholz anzünden, Deckel des Glases öffnen und Zündholz in das Glas halten (das sollte sehr schnell gehen, da sobald der Deckel runter ist die Ausatemluft sehr rasch entweicht). Das Zündholz erlischt sofort, weil in der Ausatemluft kein Sauerstoff mehr ist, sondern nur Kohlendioxid ist.



Inhaltliche Schwerpunkte

- Menschen und Tiere atmen CO_2 aus
- Autos gewinnen mit der gleichen chemischen Reaktion Energie wie Menschen und Tiere
- CO_2 ist Teil unserer Biologischen Kreisläufe

Theoretische Hintergrundinformationen

Gasaustausch im Körper: Jede Zelle des Körpers (Muskeln, Gehirn, Organe etc.) benötigt Sauerstoff, um aktiv sein zu können. Sie verbrennt Kohlenstoff (z.B. aus Zucker $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) und gewinnt dadurch Energie (analog zu jedem anderen Verbrennungsprozess). Die Zellen verbrauchen dafür natürlich O_2 , welches sie über den Blutkreislauf von der Lunge bekommen. Das dabei entstehende CO_2 wird wieder zur Lunge zurücktransportiert und ausgeatmet. Deshalb beinhaltet die Ausatemluft des Menschen nur mehr sehr wenig Sauerstoff und ist dafür mit CO_2 angereichert. Dies kann mit diesem leichten Versuch nachvollzogen werden.

Warum Luft anhalten? Bei schnellem Ein- und Ausatmen findet kein vollständiger Gasaustausch von O_2 und CO_2 in der Lunge statt (Vergleich dazu: Wir können in ein Lagerfeuer pusten, um die Flamme anzuheizen. Normale Ausatemluft enthält immer noch auch O_2). Die Luft anzuhalten dient dazu, dass von dem Sauerstoff Anteil der Luft möglichst viel ins Blut übergeht und durch CO_2 ersetzt wird. In der Ausatemluft ist dann kaum mehr Sauerstoff vorhanden.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Der Zündholztest ist nur 1 Mal (manchmal auch 2 Mal bei schnellem Wiederverschließen des Glases) durchführbar.

Häufig gestellte Frage: Warum bleibt die Ausatemluft mit CO_2 nicht im Glas, so wie bei Experiment 4? CO_2 ist doch schwerer als Luft. Die Ausatemluft hat zwar kaum mehr Sauerstoff, besteht aber immer noch zu 78% aus Stickstoff (N_2). Sie ist somit annähernd gleich schwer wie die Umgebungsluft, die ebenso zu 78% aus Stickstoff besteht und entweicht entsprechend schnell aus dem Glas. **Wichtig daher:** Die letzten Schritte des Deckel-Öffnens und Zündholz-Hineingebens müssen sehr rasch durchgeführt werden. Wenn man zu langsam ist, kommt frische Luft in das Glas und die Flamme wird nicht erlöschen.

Bezugsquellen

Adaptiert von:

Experimente zur Einheit Treibhauseffekt (COLAB-Projekt), Wilhelm Nürnberger und Sascha Schanze, Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel, Germany

<https://bildungsserver.hamburg.de/contentblob/12899758/7a14b5adf47699dca14faa4ca2580dd2/data/colab-experimente.pdf>

6. Treibhauseffekt-Experiment (mit CO₂)

Bei diesem Experiment wird der Treibhauseffekt von CO₂ selbst sichtbar. Wir simulieren mit einem Baustellenstrahler die Sonne und können dann den Treibhauseffekt in einem mit CO₂ gefüllten Gefäß, mit einem Thermoelement Messgerät tatsächlich messen.

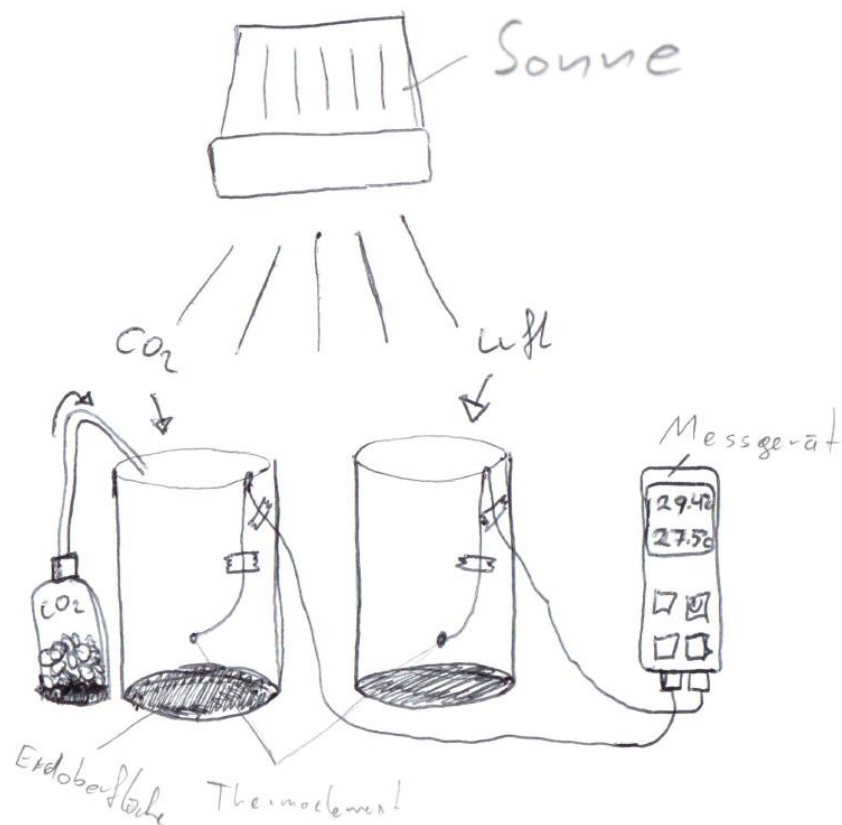
- **Thema:** Treibhauseffekt von CO₂
- **Vorbereitung:** Das besorgen der Materialien (Halogenbaustrahler, Thermoelement Messgerät) ist etwas aufwändiger. Gute Messgeräte sind eher teuer (billige sind auch brauchbar aber etwas fehleranfällig), Halogenbaustrahler sind etwas schwieriger aufzutreiben da die meisten Baustrahler inzwischen LEDs verwenden. Das Experiment an sich ist etwas sensibel im Aufbau, aber eigentlich recht leicht durchzuführen.
- **Dauer:** 10 Minuten.

Materialien

- 500W Halogen Strahler mit Stativ
(bei idealen Bedingungen ist auch ein 200W LED-Strahler möglich).
- Temperaturmessgerät mit 2 Thermoelementen (0.1°C Genauigkeit)
- 2 passende gleiche Gefäße (z.B. Glaszylinder mit 10-20cm Durchmesser, 15-30cm Höhe)
- Schwarzes Papier oder ähnliches für den Boden des Gefäßes
- Spritzfläschchen
- Essig & Backpulver (alternativ 3 Brausetabletten und Wasser)

Beschreibung

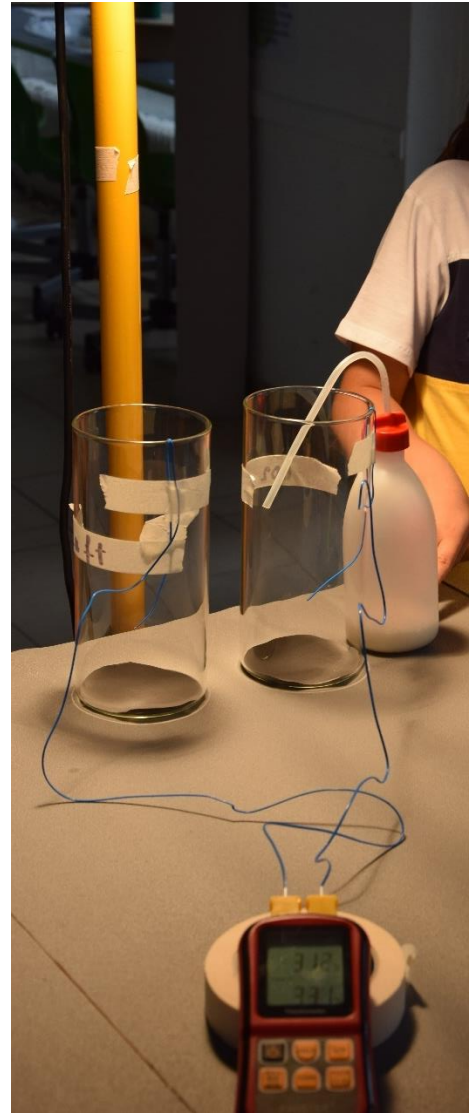
1. Die Thermoelemente werden jeweils in eines der Gefäße so reingehängt/geklebt, dass sie auf gleicher Höhe ca. im unteren Drittel des Gefäßes und, ganz wichtig, in der Mitte des Gefäßes platziert sind. (Die Gefäßwand sollte auf keinen Fall von der Messsonde berührt werden). Der Boden der Gefäße sollte mit schwarzem Material ausgelegt werden.
2. Die Gefäße müssen auf gleicher Position unter der Modell-Sonne aufgestellt werden. Wichtig ist, dass die Gefäße senkrecht von oben beleuchtet werden und nicht von der Seite; ansonsten verzerrt die Glaswand die Ergebnisse.
3. Warten, bis sich ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat (hineingreifen mit warmen Händen kann die Temperatur bereits beeinflussen)
4. Eventuell testweise die Modell-Sonne einschalten, um zu sehen, ob die Messsonden reagieren. Sie sollten sich erwärmen. Dieser Schritt ist nicht unbedingt notwendig.
5. Mit einem Schluck Essig und Backpulver CO₂ in der Spritzflasche herstellen (siehe Experiment 1) und in eines der Gefäße leiten. (CO₂ ist schwerer als Luft und sinkt daher im Gefäß ab und bleibt dort auch einige Zeit.)
6. Baustrahler einschalten und die Veränderung der Temperatur beobachten.
7. Eventuell alle 5-10 Sekunden die Temperatur aufschreiben für eine spätere Analyse bzw. um ein Diagramm aufzeichnen zu können.



Bei guten Bedingungen (genaue Platzierung der Messsonden, Windstille...) kann es bereits nach wenigen Sekunden zu einem Temperaturunterschied kommen. Beide Thermoelemente werden wärmer werden. Die Sonde, welche im CO_2 -Gefäß ist, wird sich allerdings schneller erwärmen. Nach bereits einer Minute stellt sich in der Regel ein Temperaturunterschied von 1-3°C ein.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Der Treibhauseffekt von CO_2
- Modellieren von klimatischen Bedingungen



Theoretische Hintergrundinformationen

Eigenschaften von Treibhausgasen: Der Grund warum manche Gase treibhauswirksam sind und andere nicht ist physikalisch recht komplex. Der Treibhauseffekt beruht auf Absorption von elektromagnetischer Strahlung im unsichtbaren Infrarotbereich, oft auch als Wärmestrahlung bezeichnet. Diese Infrarotstrahlung kann Moleküle umso besser in Schwingung versetzen, je stärker eine polare Ladungsverteilung ausgeprägt ist (wenn auch nur temporär) und je mehr Freiheitsgrade sie in ihrer Schwingung haben. Knapp 99% der Atmosphäre sind sehr simple symmetrische Moleküle mit gleichmäßiger Ladungsverteilung wie zum Beispiel? N_2 und O_2 mit wenigen Freiheitsgraden in ihrer Eigenschwingung. Argon (Ar) macht nur knapp 1% der Atmosphäre aus und ist überhaupt in keinem Molekül, sondern schwebt als freies Atom herum. Die Treibhausgase sind wirklich in der Minderheit. Sie sind aber komplexer und aus mehreren Atomen aufgebaut (CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2O), haben dadurch mehr Freiheitsgrade in ihrer Schwingung und eine polare Ladungsverteilung. Daher können sie Elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängen (im Infrarotbereich) gut absorbieren und von dieser angeregt werden.

Diese Anregung führt zu Vibrationen und Schwingungen im Molekül was nichts anderes ist als Wärmeenergie. CO₂ erwärmt sich durch die Wärmestrahlung vom Baustrahler und der Rückstrahlung des Schwarzen Bodens im Gefäß. Luft erwärmt sich dadurch weniger, weil weniger Treibhausgase darin vorhanden sind. Sehr wohl erwärmen sich aber die Seitenwände des Gefäßes, der schwarze Boden und das Thermoelement selbst, weil es die Strahlung absorbiert die Erwärmung im Gefäß fällt aber in einer Luft Umgebung geringer aus als wie, wenn sich auch viel CO₂ darin befinden würde.

Rückstrahlung: Für den Treibhauseffekt relevant ist die sogenannte Rückstrahlung von der Erde im Infrarotbereich. Gemeint ist die Wärmestrahlung die die Erde naturgemäß aufgrund ihrer Oberflächentemperatur emittiert und der Strahlung die direkt von der Erdoberfläche reflektiert wird. Diese Rückstrahlung wirkt kühlend auf die Erde Erdoberfläche und gleicht den ständigen Energieinput von der Sonne aus, sodass die Oberflächentemperatur auf der Erde annähernd stabil ist. Diese Wärmestrahlung, von der Erde ausgehend ist es die von den Treibhausgasen teilweise absorbiert wird und damit die Atmosphäre erwärmt.

Der schwarze Boden des Gefäßes sollte die Erdoberfläche darstellen und die Rückstrahlung von im Bereich des Infrarots verstärken, weil dunkle Farben natürlich das Licht absorbieren und sich erwärmen und darum Infrarotstrahlung emittieren. Ein weißer Boden würde mehr im sichtbaren Lichtbereich reflektieren und weniger Erwärmung durch Treibhauseffekt verursachen.

Vereinfachung: Die Physik von Treibhausgasen ist relativ kompliziert. Was aber leicht zu merken ist, dass die meisten Gasmoleküle in der Luft 1 oder 2 Atome haben, aber die wenigen Treibhausmoleküle mindestens 3 Atome oder mehr.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

500W Halogen vs. 200W LED-Strahler: Der Halogenstrahler ist eine ältere Technologie, braucht wesentlich mehr Energie und erzeugt daher auch sehr viel Abwärme. Dies ist für die Durchführung des Experiments hilfreich, weil diese Infrarotstrahlung ja vom CO₂ absorbiert wird. Der Versuch funktioniert aber auch mit dem LED-Strahler, der leichter zu beschaffen ist (allerdings weniger deutlich mit geringerem Temperaturunterschied). Man sollte dann auf gute Bedingungen achten: Viel CO₂ in dem Gefäß, gute Platzierung der Sonden in der Mitte der Gefäße, starke absorbierende Bodenfläche im Gefäß, keine Zugluft und nicht ins Gefäß atmen. Auch die echte Sonne gibt natürlich viel Infrarotstrahlung ab, die teilweise von der Atmosphäre absorbiert wird und teils auf die Erdoberfläche trifft. Trotzdem sei zu bedenken, dass bei dem Versuch mit dem Halogen-Strahler der Erwärmungs-Effekt maßgeblich von der Abwärme des Strahlers beeinflusst wird. Das Modell mit dem LED-Strahler ist insofern eleganter, da der Licht-Absorptions- und Infrarot-Emissions-Aspekt der Erdoberfläche (Rückstrahlung) stärker gewichtet ist. Das Erwärmungsergebnis ist allerdings unter Umständen nicht so eindeutig (Temperaturunterschiede bis maximal ca. 1.5°C).

Der Versuchsaufbau ist Wind empfindlich. Wer das Experiment in einem Raum mit Luftzug oder gar im Freien durchführen möchte, kann beide Gefäße mit Frischhaltefolie überdecken, nachdem ein Gefäß mit CO₂ befüllt wurde. Die Frischhaltefolie könnte theoretisch auch einen Treibhauseffekt induzieren, ist aber so dünn, dass dieser Effekt vernachlässigbar ist. Sie verhindert jedenfalls Gasaustausch in den Gefäßen mit der Umgebung.

Die Messsonden sind sehr empfindlich. Oft reicht es aus, wenn ein Gefäß zu lange in der Hand gehalten wurde, dass es etwas wärmer ist und ein Temperaturunterschied angezeigt wird. Den Strahler sollte man nur zur Versuchsdurchführung einschalten. Wer ihn zu früh einschaltet, erwärmt den gesamten Versuchsaufbau und verzerrt das Ergebnis (z.B. weil beide Gefäße schon warm wurden)

Häufiges Missverständnis: Die Erkenntnis (aus vorherigen Experimenten), dass CO₂ schwerer ist als Luft und absinkt kann das Missverständnis hervorrufen, dass sich CO₂ stärker erwärmt, weil es an Ort und Stelle (im Gefäß) bleibt. Obwohl dies in den Versuchsaufbauten eine Rolle spielt und die Erwärmung im Versuch verstärken kann, ist das nicht der Treibhauseffekt. Das Abdecken der Gefäße mit Folie könnte diesem Missverständnis entgegenwirken, da beide Gefäße keinen Luftaustausch haben.

Weiterführende Ideen

Man könnte versuchen, die Erwärmung in einem mit Gas gefüllten Gefäß auch mit anderen Gasen durchzuführen. Feuerzeuggas wäre Beispielsweise eine Möglichkeit.

Bezugsquellen

Versuch entwickelt von Erich Mursch-Radlgruber, Universität für Bodenkultur Wien

<https://sustainicum.at/resources/units/204>

(CC BY-NC-ND 3.0)

Video: Experiment Durchführung von Prof. Erich Mursch-Radlgruber: <https://vimeo.com/75471235>

Wer die komplizierte Physik hinter der Absorption von Wärmestrahlung durch Treibhausgase im Detail verstehen will:

Molekülabsorption und Ozonschicht: Florian Heimbach 2009: http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/gebhardt/gebhardt_files/skripten/Molekuelabsorption.Heimbach.pdf

7. Treibhauseffekt Experiment (vereinfacht mit Gegenständen)

Wir versuchen mit verschiedenen durchsichtigen Materialien und Gegenständen einen Treibhauseffekt zu erzeugen, so wie er durch Glas im Glashaus entsteht.

Eckdaten

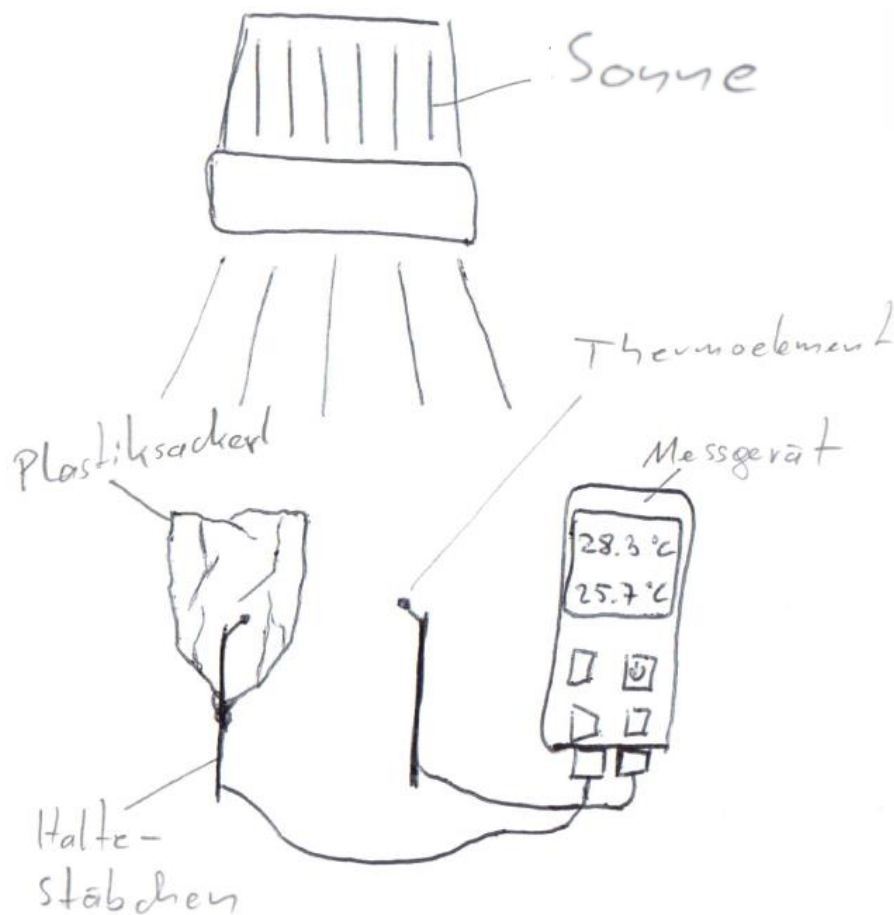
- **Thema:** Treibhauseffekt
- **Vorbereitung:** Aufwand in Bezug auf Materialbeschaffung eher groß. Der Versuch ist einfach
- **Dauer:** 10 Minuten.

Materialien

- 500W Halogen Strahler mit Stativ
- Temperaturmessgerät mit 2 Thermoelementen (0.1°C Genauigkeit)
- 2 Holzstäbchen, um die Position der Messsonden zu fixieren
- Plastiksackerl, Schüssel, Glas oder ähnliches als Treibhausmodell

Beschreibung

Mit diesem Versuchsaufbau können wir den Treibhauseffekt von durchsichtigen Materialien visualisieren. Wir versuchen mit einem Baustellenstrahler eine Sonne zu simulieren und können dann den Treibhauseffekt in verschiedenen Objekten tatsächlich messen. Das Prinzip der verschiedenen Versuche ist immer gleich. Wir messen die Temperatur mit den 2 Messelementen in gleichem Abstand von der Modell-Sonne innerhalb und außerhalb eines Gefäßes, welches das „Treibhaus“ darstellt. Zum Beispiel, eine Glasschüssel, Plastischüssel, Gürkenglas oder ein Plastiksackerl. Je nach Materialbeschaffenheit (Wärmekapazität, Dicke, Volumen) wird sich nach einigen Sekunden bis einigen Minuten ein merkbarer Temperaturunterschied von wenigen Grad Celsius einstellen.



Inhaltliche Schwerpunkte

- Treibhauseffekt, so wie im Glashaus
- Verwandtschaft von CO₂ Treibhauseffekt mit Glashaus erkennen.

Theoretische Hintergrundinformationen

Namensgebend für den Treibhauseffekt ist natürlich das Gewächshaus, auch bekannt als Treibhaus. Und tatsächlich, die Glaswände (oder manchmal auch Plexiglaswände) machen das gleiche wie CO₂. Sie lassen Licht durch, aber absorbieren Wärmestrahlung, erwärmen sich dadurch und emittieren einen Teil davon zurück, sodass sich das Gesamtsystem erwärmt. Genauso wie die Treibhausgase in der Atmosphäre Wärmestrahlung absorbieren.

Oft werden die Treibhausgase in Grafiken als eine Art Deckschicht oder Hülle rund um die Atmosphäre dargestellt, was die Analogie zum Glashaus verstärkt. Das Glas ist im Glashaus auch die äußerste Hülle. Man sollte allerdings bedenken, dass Treibhausgase sich nicht in einer äußeren Schicht ansammeln, sondern sich zumindest im untersten Teil der Atmosphäre, der Troposphäre, sehr gleichmäßig verteilen. Diese Troposphäre ist die unterste Schicht der

Atmosphäre und bis ca. 10km dick. Hier spielt sich im Wesentlichen auch sämtliches Wettergeschehen ab und sie ist für uns und die Klimaerwärmung am relevantesten.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Häufiges Missverständnis: Die Luft in einem abgeschlossenen System erwärmt sich nicht nur aufgrund des Treibhauseffektes sondern auch weil die Luft an Ort und Stelle bleibt. Der Treibhauseffekt ist also nicht der einzige erwärmende Faktor in einem abgeschlossenen System wie einem Treibhaus. Bei dem freien Thermoelement, ohne Plastik- oder Glashülle findet rundherum ständig Luftaustausch statt, sodass es immer von frischer Luft gekühlt ist. Es erwärmt sich nur aufgrund der direkt eintreffenden Strahlung auf den Temperaturfühler.

In Kombination mit der Erkenntnis, dass CO₂ schwerer ist und absinkt kann das Missverständnis entstehen, dass sich die Luft erwärmt, weil sie an Ort und Stelle bleibt. Das ist nicht der Treibhauseffekt, obwohl in den Versuchsaufbauten dies eine Rolle spielt und die Erwärmung verstärkt.

Weiterführende Ideen

Bei klarem sonnigem Wetter kann der Versuch anstatt mit einer Baustrahler Modell-Sonne auch mit der richtigen Sonne durchgeführt werden.

Bezugsquellen

Diverse Quellen, unter anderem:

Anleitungen: Experimente Klimawandel von Maike Leupold, Jeanne Schulz

Zu finden auf, Wissenschaft in die Schulen! <http://www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1058815>

Verein "energie:autark Kötschach-Mauthen", Lerngarten der Erneuerbaren Energien Experiment „B4 Treibhauseffekt“ https://www.energie-autark.at/show_content2.php?s2id=47

8. Rückstrahlungs-Experiment und Albedo

Der Wärmehaushalt der Erde wird auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Erde beeinflusst. Schnee, Eis, Wasser oder Fels absorbieren oder reflektieren verschieden viel Licht. Mit Hilfe von Farbpapier, Alufolie, Satellitenbildern und den Messelementen unter einer Lampe machen wir diesen Effekt leicht sichtbar.

- **Thema:** Strahlungsbilanz der Erde
- **Vorbereitung:** Aufwand in Bezug auf Materialbeschaffung eher groß. Versuch ist nicht aufwändig.
- **Dauer:** 10 Minuten.

Beschreibung

Das Experiment ist sehr einfach. Die beiden Messsonden werden mit Kreppklebeband und etwas Abstand unter dem Baustrahler auf den Tisch geklebt. Anschließend bedecken wir die Thermoelemente mit verschiedenen Materialien. Die Temperaturanzeige wird unter entsprechenden Flächen immer wärmer sein. Dunkles Papier > helles Papier > Alufolie.

Inhaltliche Schwerpunkte

- Absorption und Reflexion von Licht (und auch Infrarot, oft Wärmestrahlung genannt) von verschiedenen Farben und Oberflächen.
Absorption in diesem Kontext heißt, dass das auftreffende Licht in Wärmeenergie umgewandelt wird. Reflexion heißt, die eintreffende Strahlung prallt sozusagen von der Oberfläche ab und geht wieder zurück.

Materialien

- 500W Halogen Strahler mit Stativ
- Temperaturmessgerät mit 2 Thermoelementen (0.1°C Genauigkeit)
- Buntpapier in verschiedenen Farben
- Alufolie
- ausgedruckte Satellitenbilder
- Falls vorhanden auch andere dünn-schichtige Materialien (Achtung: Die Dicke der Materialien hat großen Einfluss darauf wieviel Wärme nach unten durchgeleitet wird. Die Materialien sollten nur Papierstärke haben.)

Theoretische Hintergrundinformationen

Strahlungsbilanz der Erdoberfläche: Dieses relativ einfache Experiment stellt einen Sachzusammenhang dar, den die meisten Menschen intuitiv schon erfasst haben. Nämlich dass verschiedene Oberflächen auch verschieden viel Licht absorbieren und sich erwärmen. Schön ist hier zu sehen, dass Licht in Wärmeenergie umgewandelt werden kann. Ein Prozess, der maßgeblich den Strahlungshaushalt der Erde mitbeeinflusst. Man denke hier vor allem an verschiedene Landoberflächen (Wald, Wüste, Steppe, Ozean oder Eis) oder der Bedeckung der Erde durch Wolken. Albedo ist ein definierter Kennwert, wieviel der einfallenden Strahlung reflektiert wird. Neuschnee z.B. hat eine Albedo von 0,9. Dies bedeutet 90% der einfallenden Lichtstrahlung werden von Neuschnee reflektiert (darum ist Neuschnee auch so schön weiß). Die Verringerung der Albedo der Erdoberfläche wie z.B. durch Schmelzen der Polkappen hat einen verstärkenden Effekt auf die Klimaerwärmung (positiver Feedback-Mechanismus). Die Desertifikation (Wüstenbildung) in manchen Regionen hingegen erhöht die Albedo (macht die Oberflächen heller) und wirkt eher kühlend (negativer Klimaerwärmung-Feedback-Mechanismus). In Wüsten kann es aber aufgrund der Trockenheit, geografischen Lage und mangelnden Schatten trotzdem sehr heiß werden.

Veränderung der Erdoberfläche: Mit ausgedruckten Satellitenbildern kann man sehr leicht visualisieren, dass es für die Energiebilanz der Erde maßgeblich ist, wie die Erdoberfläche beschaffen ist. Beispielsweise schmelzen die stark reflektierenden Polkappen. Vor allem das arktische Meereis ist sehr gefährdet komplett zu verschwinden. Unter dem arktischen Eisschild ist Meerwasser, welches eintreffendes Licht sehr stark absorbiert und zu einer weiteren Erwärmung beiträgt. Das Meer ist auf Satellitenbildern sehr dunkel, absorbiert also wirklich stark.

Erfahrungen aus dem Wissensraum

Die Teilnehmer*innen raten lassen unter welchen Farben es wie warm wird ist recht lustig. Sie liegen meist richtig, bis zu dem Moment wo Alufolie aufgelegt wird. Die Alufolie reflektiert Strahlung stark (hohe Albedo) und verhindert Erwärmung darunter, wirkt also kühlend. Intuitiv denken die meisten bei Alufolie an warmhalten. Daher eignet sich Alufolie sehr gut um Strahlung, Absorption und Reflektion zu thematisieren.

Bezugsquellen

Adaptiert von: Accent Global Change Magazine for Schools: Albedo und Bestrahlung von Oberflächen
http://klimat.czn.uj.edu.pl/enid/3_Albedo/Experiment_Bestrahlung_6dm.html

Impressum

Herausgeber:

Verein ScienceCenter-Netzwerk

Landstraßer Hauptstraße 71/1/309

1030 Wien

Recherche und Aufbereitung: Balduin Landl

Inhaltliche Mitarbeit: Sarah Funk

Layout und Unterstützung: Irene Besenbäck, Alina Natmessnig

Fotos: Mary Sarsam, ©Verein Science Center Netzwerk

Skizzen: Balduin Landl

April 2021

Alle Texte und Grafiken dieser Broschüre (außer Logos) sind, sofern nicht anders angegeben, unter CC BY-NC-SA lizenziert.



Mit freundlicher Unterstützung von



Der Verein ScienceCenter-Netzwerk wird unterstützt von

