



## Kleine Gase, große Wirkung – Bestandteile der Luft und Treibhauseffekt

### Projektwoche Klimawandel

im Rahmen des Aktionsprogramms „Aufholen nach Corona“

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



*Juniorlabor*

Merck // TU Darmstadt

## Programm

	<b>Di., 19.4.22</b>	<b>Mi., 20.4.22</b>	<b>Do., 21.4.22</b>	<b>Fr., 22.4.22</b>
9-12 Uhr	Bestandteile der Luft/ Treibhauseffekt	Bestandteile der Luft/ Treibhauseffekt	Online-Führung Merck	Testen der Sensoren
12-13 Uhr	Mittagessen in der Mensa	Mittagessen in der Mensa	Mittagessen in der Mensa	Mittagessen in der Mensa
13-15 Uhr	Bestandteile der Luft/ Treibhauseffekt	Sensorenbau und -programmierung	Eis mit flüssigem Stickstoff	Abschluss

# Inhaltsverzeichnis

Sicheres Arbeiten im Labor	5
Einleitung	7
Die Bestandteile der Luft	14
Versuch 1: Flüssiger Stickstoff – Der „Stuttgarter Trichter“ (Demonstrationsversuch)	15
Versuch 2: Löslichkeit von CO <sub>2</sub> in Wasser	20
Versuch 3: Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid – Trockeneis und gasförmiges CO <sub>2</sub>	28
Versuch 4: Der Einfluss der Ozeane	31
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuch 4a: Die Versauerung der Ozeane: Was macht die Ozeane sauer und welche Folgen hat dies?</li> <li>• Versuch 4b: Freisetzung von CO<sub>2</sub> durch die Ozeane - Warum verstärkt die Erwärmung der Ozeane die globale Erwärmung</li> <li>• Versuch 4c: Wie geht es der Koralle, wenn das Wasser saurer und wärmer wird?</li> <li>• Versuch 4d: Die Ozeane als Klimapuffer Wie schützen uns die Ozeane vor einem noch stärkeren Klimawandel?</li> </ul>	31 36 39 42
Versuch 5: Die Wirkung von Treibhausgasen - Welche Wirkung haben Treibhausgase auf die Erdtemperatur?	45
Quellen	54



# Allgemeine Laborregeln

## Sicheres Arbeiten im Labor

1. Im Labor müssen Schutzbrille und Kittel getragen werden!
2. Im Labor darf weder gegessen noch getrunken werden!
3. Jeder Hautkontakt mit Chemikalien ist zu vermeiden!
4. Das Labor darf nur mit festem Schuhwerk und langer Beinkleidung betreten werden.
5. Lange Haare sollten zusammengebunden werden.
6. Jacken und Taschen dürfen nicht ins Labor mitgenommen werden!
7. Im Labor müssen alle Gefäße in denen Chemikalien sind, beschriftet werden.
8. Lies vor jedem Experiment genau die Versuchsanleitung.
9. Frage bei Problemen die Betreuer\*innen.
10. Lasse den Versuchsaufbau stets von einem/r Betreuer\*in kontrollieren!
11. Lies die Beschriftung von Chemikalien genau, bevor du sie verwenden.
12. Gehe sorgfältig und sachgerecht mit allen Laborgeräten um!
13. Abfälle dürfen nicht ohne Erlaubnis in den Ausguss entsorgt werden. In der Regel stehen Kanister zur Entsorgung bereit. Achte auf die Anweisungen zur Entsorgung von Chemikalienabfällen. Frage auch hier im Zweifel immer die Betreuer\*innen.
14. Halte die Laborräume sauber!
15. Wenn du beim Experimentieren mit Chemikalien in Kontakt gekommen bist, wasche die Hautstelle sofort ab!
16. Chemikalien darf man nicht probieren.
17. Prüfen den Geruch einer Chemikalie stets durch Zufächeln!
18. Wasche dir beim Verlassen des Labors unbedingt die Hände!



## Einleitung

Das Thema unserer Projektwoche heißt „Klimawandel“. Um zu verstehen, was das ist, muss man zunächst einmal wissen, was der Unterschied zwischen Wetter und Klima ist. Dann kann man sich damit befassen, welche Faktoren eigentlich das Klima beeinflussen. Um es vorwegzunehmen: Es gibt sehr viele Einflüsse, die bestimmen, wie sich das Klima verändert. Ein wichtiger Einfluss ist die chemische Zusammensetzung unserer Atmosphäre, mit der wir uns in verschiedenen Versuchen beschäftigen werden.



Abbildung 1: Symbolbild Klimawandel (erstellt mit Biorender.com)

## Was ist der Unterschied zwischen Wetter und Klima?

Der aktuelle Zustand der Erdatmosphäre zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort wird als **Wetter** bezeichnet. Das Wetter kann sich kurzfristig ändern und spielt sich auf Zeitskalen von **Stunden bis Tagen ab**.

Das **Klima** hingegen bezeichnet das langjährige durchschnittliche Wettergeschehen an einem Ort ("Durchschnittswetter"). Üblicherweise betrachtet man das Wetter dafür über einen **Zeitraum von mindestens 30 Jahren bis hin zu mehreren tausend Jahren**.

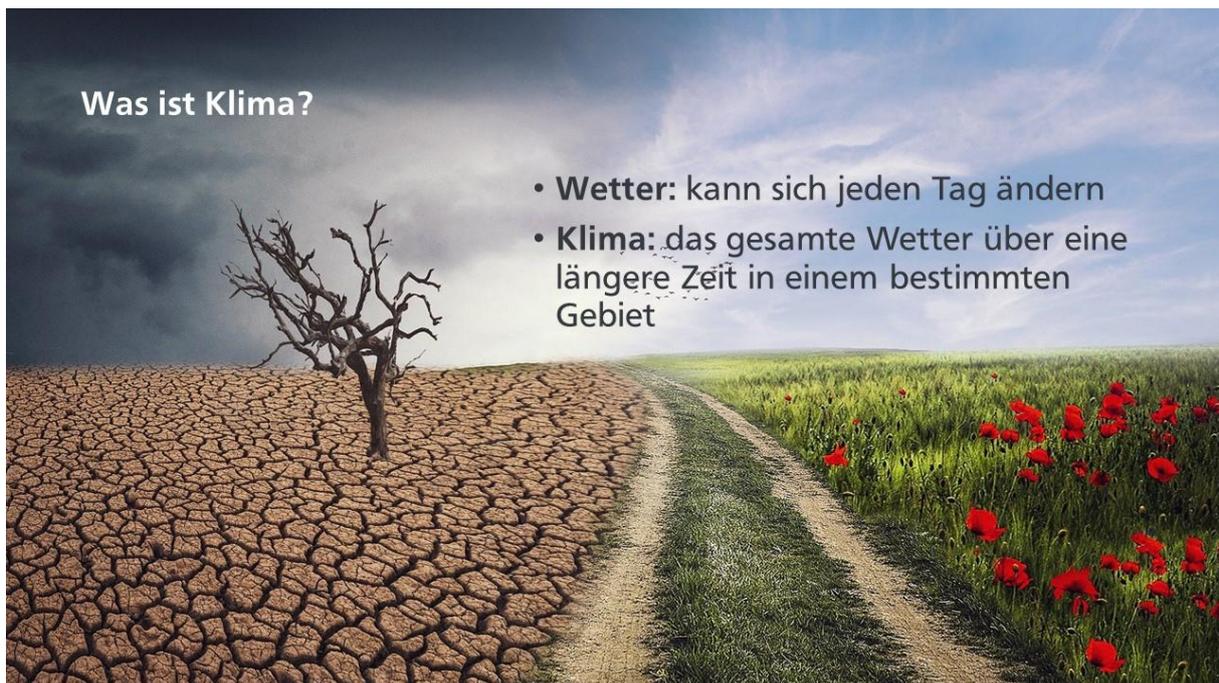


Abbildung 2: Wetter und Klima (Bild: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com))

## Was ist Klimawandel?

Das Klima auf der Erde hat sich schon immer verändert. Es gab sehr kalte Zeiten, die sogenannten Eiszeiten, und es gab Zeiten, in denen es wärmer war als heute. In der Vergangenheit fanden diese Temperaturänderungen ohne das Zutun des Menschen über einen sehr langen Zeitraum statt. Das Leben auf der Erde konnte sich entsprechend anpassen.



Abbildung 3: zu viele Treibhausgase (Bild:www.pixabay.com)

Seit dem Beginn der Industrialisierung Ende des 19. Jahrhunderts steigt die Temperatur aber ungewöhnlich schnell an. Seit dieser Zeit ist die Weltbevölkerung stark gewachsen und wir nutzen fossile Energiequellen in großen Mengen – zuerst Kohle, dann auch Erdöl und Erdgas. Wir nutzen diese fossilen Energieträger in Kraftwerken, Autos, Flugzeugen, Schiffen, Fabriken oder zum Heizen. Bei deren Verbrennung entsteht das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (Kohlendioxid,  $\text{CO}_2$ ). Diese Zunahme von Kohlendioxid und anderen vom Menschen freigesetzten Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zur Erderwärmung. Man spricht vom menschengemachten (anthropogenen) Treibhauseffekt. Seit Beginn der Industrialisierung vor 200 Jahren ist es auf der Erde schon über 1 °C wärmer geworden.

### Was ist der Treibhauseffekt?

Unsere Atmosphäre enthält eine Reihe von Gasen, die Energie aus Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) aufnehmen können. Zu diesen sogenannten Treibhausgasen gehören Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas). Als „Spurengase“ sind sie zwar nur in geringen Mengen vorhanden, sie haben aber dennoch eine große Wirkung auf die Erdtemperatur.

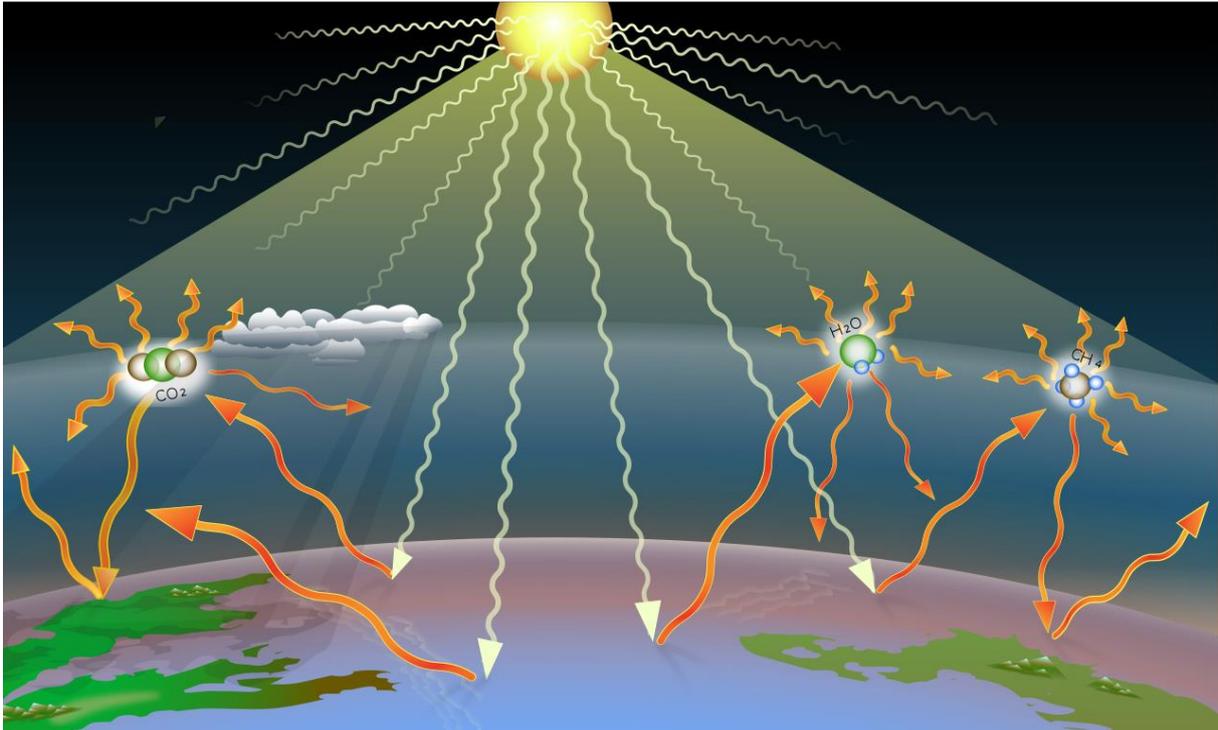


Abbildung 4: Sonnenlicht (weiße Pfeile) wird auf der Erdoberfläche in Wärmestrahlung umgewandelt. Diese wird zurückgestrahlt (orange Pfeile). Ein Teil davon wird von Molekülen der Treibhausgase aufgenommen (Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan) und in eine zufällige Richtung wieder emittiert, teilweise auch zurück zur Erde. (By A loose necktie - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80356809>)

Kurzwellige Sonnenstrahlen (UV-Strahlung) dringen durch die Atmosphäre zur Erdoberfläche vor, wo sie in langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) umgewandelt wird. Jedoch verhindern die Treibhausgase in der Atmosphäre, dass die gesamte Wärmestrahlung zurück ins Weltall gelangt und halten einen Teil zurück. Als Folge erwärmt sich die Erde.

Ohne diesen **natürlichen Treibhauseffekt** würde eine mittlere Temperatur von  $-18\text{ °C}$  auf der Erde herrschen und es wäre wahrscheinlich kein Leben möglich. In der Realität sorgt der natürliche Treibhauseffekt dafür, dass die globale Mitteltemperatur der Erde von  $-18\text{ °C}$  auf ca.  $14\text{ °C}$  erhöht wird. Bei dieser Temperatur ist Wasser flüssig und somit Leben auf der Erde möglich.

Und nun kommt der Mensch ins Spiel: Die Temperatur auf der Erde hängt von der Fähigkeit der Atmosphäre ab, die Wärmestrahlung der Erdoberfläche aufzunehmen (und damit auch zurückzustrahlen). Wenn der Mensch diese Absorptionsfähigkeit (Aufnahmefähigkeit) für Wärmestrahlung erhöht, indem er immer mehr Treibhausgase erzeugt, erwärmt sich die Atmosphäre immer weiter – und das immer

schneller. Diese Erwärmung ist der **menschengemachte (anthropogene) Treibhauseffekt**.

## Klimakrise

Die Erwärmung der Erdatmosphäre ist bedenklich, denn schon heute kommt es infolgedessen zu mehr Stürmen, Dürren, Waldbränden, Starkregen und Überschwemmungen. Die betroffenen Menschen verlieren ihre Heimat oder sind von Hunger bedroht. Wenn wir den Klimawandel nicht aufgehalten, werden sich diese Krisen verschärfen. Das Meereis des Nordpolarmeeres und das Gletschereis an Land können abschmelzen und der Meeresspiegel so stark ansteigen, dass Regionen in Küstennähe überschwemmt werden. Viele Menschen müssen ihre Heimat verlassen, weil Ernten ausfallen oder Wasser knapp wird. Und viele Tier- und Pflanzenarten sterben aus, weil ihre Lebensbedingungen nicht mehr gegeben sind. Die Klimakrise ist eine Gefahr für die Sicherheit und das gute Leben auf der Erde. Deshalb ist es sehr wichtig, dass Politik, Wirtschaft und wir alle alles dafür tun, den Klimawandel aufzuhalten.

## Was macht ein Gas zum Treibhausgas?

Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre spielt für den Treibhauseffekt eine große Rolle. Die Hauptbestandteile der Erdatmosphäre, Stickstoff, Sauerstoff und Argon tragen nicht dazu bei, da sie die Wärmestrahlung des Erdbodens nicht absorbieren können. Die in geringen Mengen vorkommenden Spurengase Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas) haben hingegen diese Fähigkeit und können Energie aus Wärmestrahlung aufnehmen. Ihre Moleküle werden durch die eintreffende Strahlung in Schwingungen versetzt und wandeln Strahlungsenergie in Schwingungsenergie um. Die Moleküle geben diese Schwingungsenergie nach einiger Zeit wieder ab, und zwar in zufälliger Richtung. Die Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) wird also einerseits in den Weltraum und andererseits in Richtung Erdoberfläche wieder abgegeben.

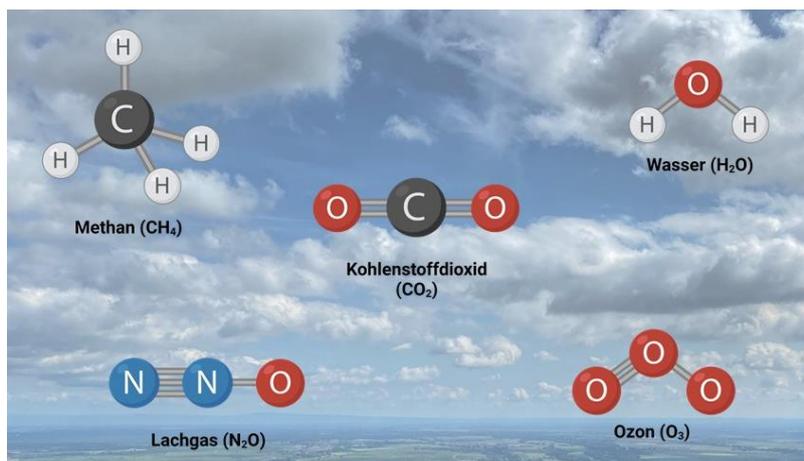


Abbildung 5: Treibhausgase (erstellt mit Biorender.com)

### Wo kommt das CO<sub>2</sub> her?



Created with BioRender.com

Abbildung 6: Herkunft des zusätzlichen Kohlendioxids in der Atmosphäre (erstellt mit Biorender.com)



Abbildung 7: CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland 2017 (Quelle: Umweltbundesamt).

## Die Atmosphäre

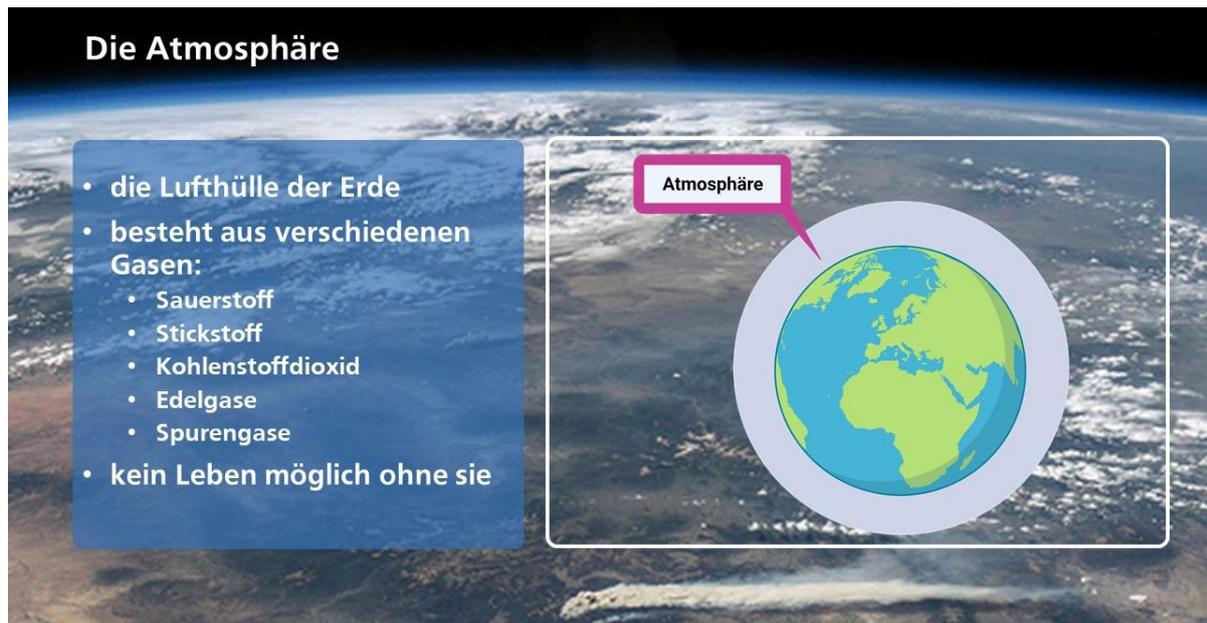


Abbildung 8: Die Atmosphäre (erstellt mit Biorender.com).

Wenn man die Erde aus dem Weltall betrachtet, sieht man, dass sie von einer dünnen, blau schimmernden Gashülle umgeben ist. Diese Gashülle ist die **Atmosphäre**. Sie besteht aus Luft, Wasserdampf und anderen Stoffen.

Die Atmosphäre ist in mehrere Schichten aufgeteilt. Je weiter man nach oben aufsteigt, desto weniger Luftteilchen sind vorhanden, die Luft wird „dünner“. Luft ist für uns unsichtbar; sie ist sie farblos, geschmacklos und geruchlos. Trotzdem wäre Leben auf der Erde ohne Luft nicht möglich.

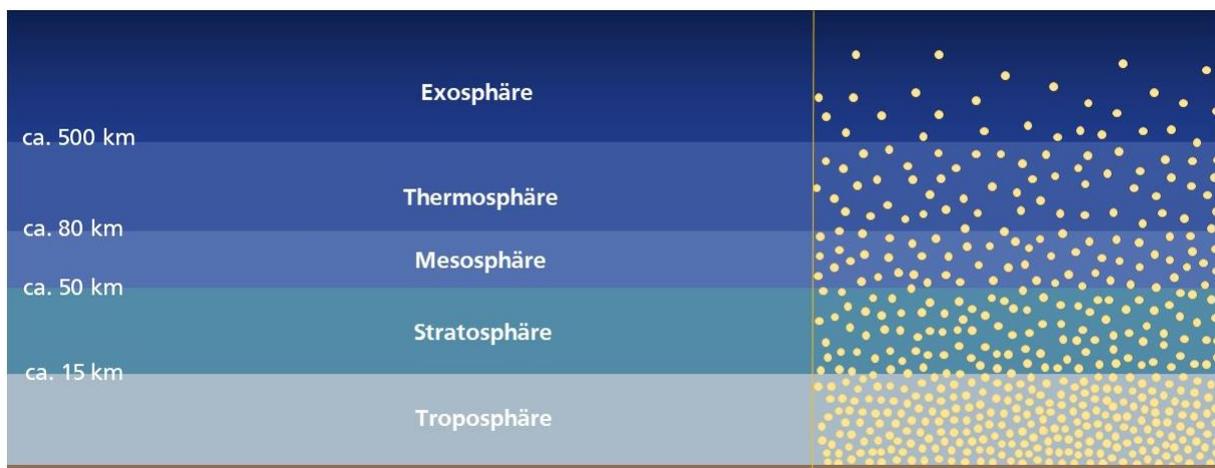
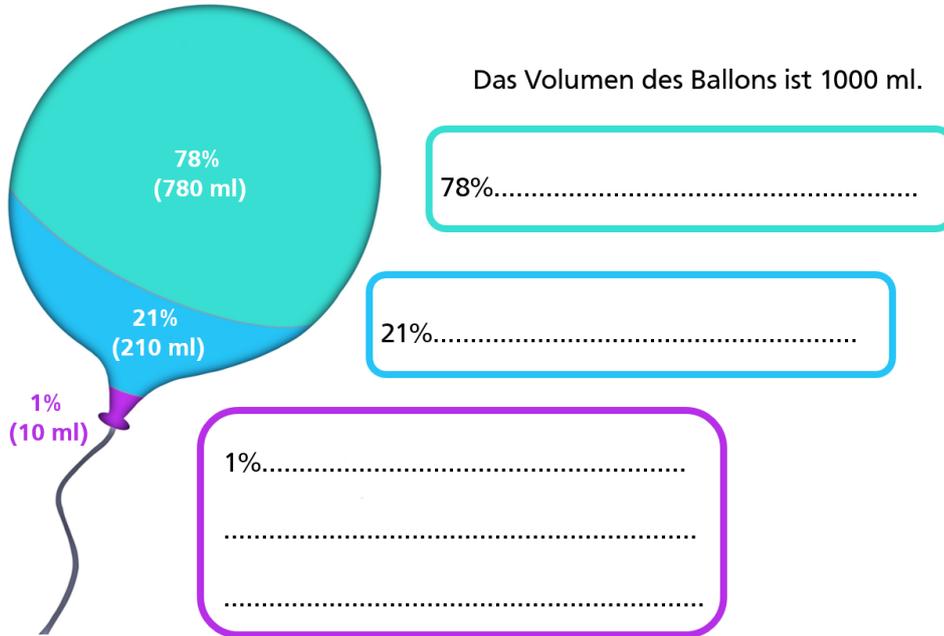


Abbildung 9: Schichten der Atmosphäre.

## Die Bestandteile der Luft

Aus welchen Gasen besteht Luft und wie groß sind ihre Anteile am Gesamtvolumen?

**Fülle die Kästchen aus:**



## Versuch 1: Flüssiger Stickstoff – Der „Stuttgarter Trichter“ (Demonstrationsversuch)

### Aufbau:



### Sicherheitshinweise:

**Flüssiger Stickstoff ist sehr kalt. Es muss auf jeden Fall eine Schutzbrille getragen werden. Der flüssige Stickstoff und das Metallgefäß dürfen auf keinen Fall mit der Haut berührt werden. Es besteht die Gefahr einer Kaltverbrennung. Flüssiger Stickstoff darf nur in gut belüfteten Räumen verwendet werden.**

### Durchführung:

- Vergewissere dich, dass der Kegel aus metallischem Kupfer kein Loch an der Spitze hat!
- Dann wird flüssiger Stickstoff aus dem Vorratsgefäß in den Kupferbehälter gegossen, so dass er etwa halb gefüllt ist.
- Unter die Spitze stellt man ein Gefäß, mit dem man gegebenenfalls eine Flüssigkeit auffangen kann.

### Notiere deine Beobachtungen:

### Weitere Versuche und Fragen:

- 1) Beschreibe den Vorgang im Inneren des Metallgefäßes. Was passiert mit dem flüssigen Stickstoff?

- 2) Ein brennendes Streichholz wird über den „Trichter“ gehalten.
  - a. Was vermutest Du, wird passieren? Kreuze an.
  - b. Probiere es aus. Was beobachtest du? Kreuze an.

	Vermutung	Beobachtung
Die Flamme wird größer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Flamme wird schwächer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Streichholz geht aus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es passiert gar nichts.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3) Gib eine Erklärung für deine Beobachtungen.

4) Beschreibe, was am unteren Teil des Metallgefäßes passiert.

5) Mit einem Temperaturfühler aus Metall wird die Temperatur der Flüssigkeit in dem Gefäß unter dem „Trichter“ gemessen. Welchen Wert liest du ab?

.....°C

6) Woraus besteht die Flüssigkeit in dem Gefäß? Begründe deine Entscheidung.

7) Woraus besteht der weiße Feststoff am oberen Teil des Metallgefäßes?

8) Auf dem „Trichter“ bildet sich Nebel. Woraus besteht der Nebel?

9) Es ist verboten, mit flüssigem Stickstoff in engen, schlecht belüfteten Räumen (Fahrstuhl, Auto) zu hantieren. Gib eine Begründung für dieses Verbot.

10) Nenne die Bestandteile der Luft, die wir mit diesem Versuch erkennen können.  
Schreibe deine Antworten in die Kästchen.

## Versuch 2: Löslichkeit von CO<sub>2</sub> in Wasser

In diesem Versuch wird die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in Wasser untersucht. Als Quelle für das Gas benutzen wir Vitamin-Brausetabletten. Diese enthalten (neben anderen Stoffen) Zitronensäure und Natriumhydrogencarbonat (Natron). Tut man die Tablette ins Wasser, reagieren beide Stoffe miteinander. Durch die Säure zersetzt sich das Natriumhydrogencarbonat, wobei Kohlenstoffdioxid entsteht. Aus gleichartigen Brausetabletten wird immer die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid freigesetzt.

### Geräte/Materialien:

- Stativplatte
- Stativstange
- Stativklammer
- Muffe
- Wanne (Glas oder Plastik)
- Schlauch
- Schlauchschelle
- Messzylinder (500 ml)
- Becherglas
- Thermometer
- Wasserkocher

### Chemikalien

- Brausetabletten
- Wasser
- Eis



### Sicherheitshinweise:

**Im Labor ist Essen und Trinken verboten. Auch wenn Brausetabletten Lebensmittel sind, darf man im Labor auf keinen Fall die Brausetabletten essen oder das Wasser trinken, da eine Kontamination (Verunreinigung) mit Chemikalien nicht ausgeschlossen werden kann.**

**Vorsicht mit dem heißen Wasser, Verbrühungsgefahr.**

**Stromführende Teile der Elektrogeräte vor Wasser schützen.**

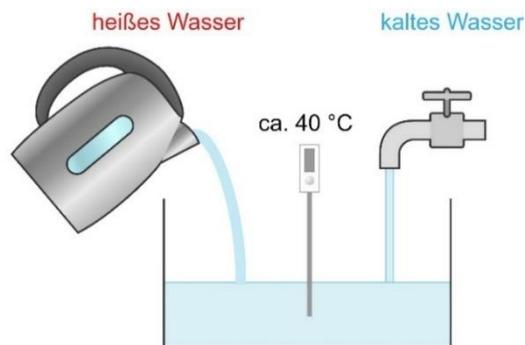
### Aufbau:



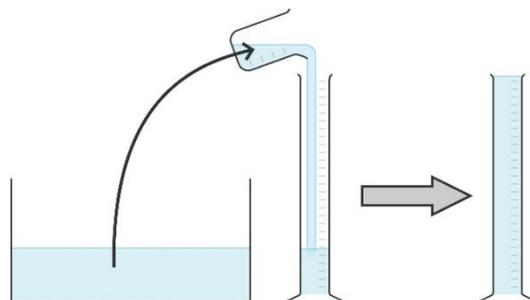
## Aufbau und Durchführung:

### Versuch a) warmes Wasser

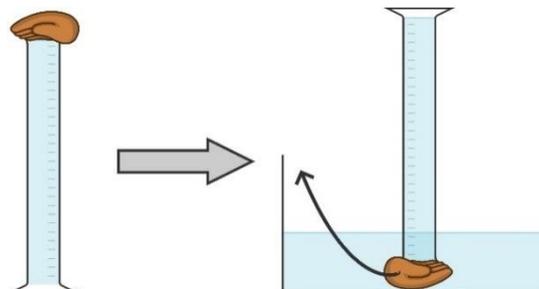
- Fülle die Wanne mit etwas Wasser aus dem Wasserhahn (Schlauch und Schlauchschelle verwenden) und mische heißes Wasser aus dem Wasserkocher dazu. Die Wanne sollte etwa zur Hälfte gefüllt sein.
- Miss die Temperatur. Versuche, auf eine Temperatur von **etwa 40 °C** zu kommen. **Vorsicht: Mache das Wasser nicht zu heiß, da im nächsten Schritt die Hand eingetaucht wird.**



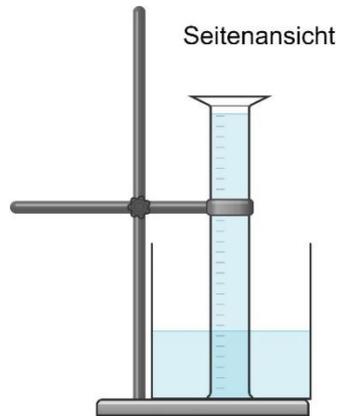
- Fülle den Messzylinder mit Hilfe eines Becherglases bis zum Rand mit warmem Wasser aus der Wanne.



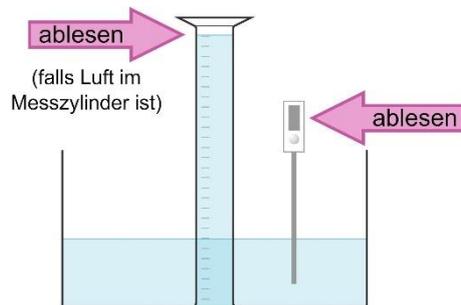
- Verschließe den Messzylinder mit der Hand und drehe ihn um. Tauche ihn in das Wasser der Wanne und ziehe nun die Hand unter Wasser weg.



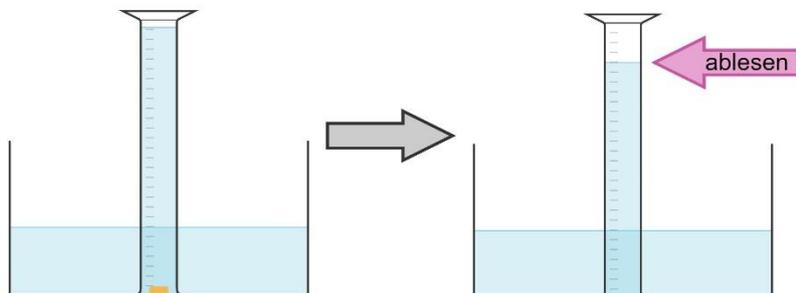
- Sichere den Messzylinder mit Stativ und Klammer gegen Umfallen.



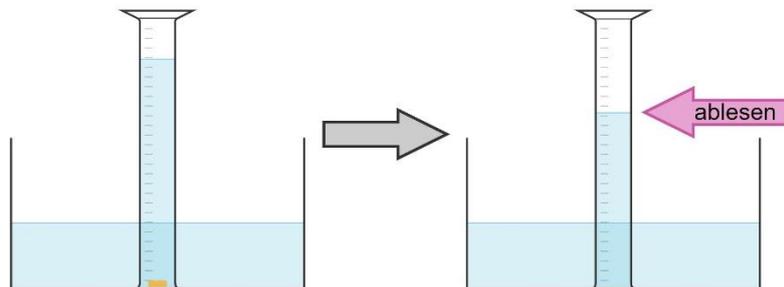
- Bestimme mit einem Digitalthermometer die Temperatur des Wassers und notiere sie über der Tabelle auf Seite 25.
- Notiere außerdem, falls beim Befüllen etwas Luft im Messzylinder geblieben ist. Trage das Volumen der Luft ebenfalls über der Tabelle ein. Falls in dem Bereich keine Striche auf dem Messzylinder sind, musst du das Volumen abschätzen. Falls keine Luft im Messzylinder ist, trage „0 ml“ ein



- Schiebe eine Brausetablette unter den Messzylinder und warte, bis sie sich vollständig aufgelöst hat.
- Lies das Gasvolumen ab und trage es in die erste Tabelle ein.



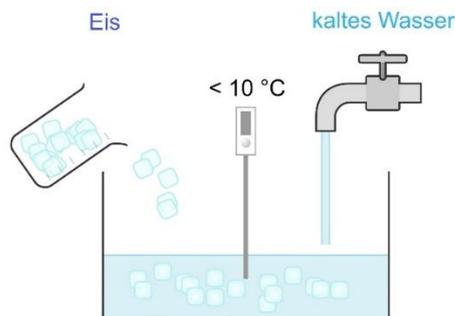
- Schiebe eine zweite Brausetablette unter den Messzylinder.
- Notiere nach dem vollständigen Auflösen wieder das Gasvolumen.



- Schiebe jetzt noch eine dritte Brausetablette unter den Messzylinder.
- Notiere nach dem vollständigen Auflösen wieder das Gasvolumen.

### Versuch b) Eisgekühltes Wasser

- Wiederhole den Versuch mit kaltem Wasser.
- Fülle dazu die Wanne mit Wasser aus dem Wasserhahn und mische 2-3 Bechergläser voll Eis dazu.
- Miss die Temperatur. Versuche, unter 10 °C zu kommen.



#### Die weitere Durchführung ist wie bei Versuch a):

- Fülle den Messzylinder wieder mit Hilfe eines Becherglases bis zum Rand mit dem kalten Wasser aus der Wanne.
- Verschließe den Messzylinder mit der Hand und drehe ihn um. Tauche ihn in das Wasser der Wanne und ziehe nun die Hand weg. Falls etwas Luft im Messzylinder bleibt, wird dieses Volumen notiert.
- Sichere den Messzylinder mit Stativ und Klammer gegen Umfallen.
- Bestimme mit einem Digitalthermometer die Temperatur des Wassers und notiere sie über der Tabelle.
- Schiebe eine Brausetablette unter den Messzylinder und warte, bis sie sich vollständig aufgelöst hat.

- Lies das Gasvolumen ab und trage es in die erste Tabelle ein.
- Schiebe eine zweite Brausetablette unter den Messzylinder.
- Notiere nach dem vollständigen Auflösen wieder das Gasvolumen.
- Schiebe jetzt noch eine dritte Brausetablette unter den Messzylinder.
- Notiere nach dem vollständigen Auflösen wieder das Gasvolumen.

**Notiere deine Ergebnisse:**

**a) warmes Wasser**

Temperatur des Wassers: .....

Volumen der Luft im Messzylinder vor dem Versuch.....

	<b>Volumen Gas im Messzylinder</b>	<b>Volumen Gas pro Tablette</b>
<b>1. Tablette</b>	(Wert 1)	(Wert 1 - Luftvolumen)
<b>2. Tablette</b>	(Wert 2)	(Wert 2 - Wert 1)
<b>3. Tablette</b>	(Wert 3)	(Wert 3 - Wert 2)

**b) eisgekühltes Wasser**

Temperatur des Wassers: ..... Volumen der Luft im Messzylinder vor dem Versuch.....

	<b>Volumen Gas im Messzylinder</b>	<b>Volumen Gas pro Tablette</b>
<b>1. Tablette</b>	(Wert 1)	(Wert 1 - Luftvolumen)
<b>2. Tablette</b>	(Wert 2)	(Wert 2 - Wert 1)
<b>3. Tablette</b>	(Wert 3)	(Wert 3 - Wert 2)

## Auswertung:

Vergleiche die im Messzylinder aufgefangenen Gasmengen:

- Wie ändert sich die Gasmenge von der ersten zur zweiten und von der zweiten zur dritten Tablette?
- Wie unterscheiden sich die Gasmengen bei Änderung der Wassertemperatur?
- Versucht, eure Beobachtungen zu erklären.

**Fülle den Lückentext aus und nutze folgende Wörter:**

**mehr, warmem, Kohlenstoffdioxid, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, mehr, Gas, kaltem**

Wenn man Brausetabletten in Wasser auflöst, entsteht ein .....

Es heißt ..... und hat die Formel .....

.....kann sich in Wasser lösen.

Je mehr Kohlenstoffdioxid sich bei der ersten Brausetablette im Wasser löst,  
desto..... Kohlenstoffdioxid fangen wir bei der zweiten

Brausetablette im Messzylinder auf.

Die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid ist in ..... Wasser besser  
als in .....Wasser.

Je wärmer das Wasser ist, desto..... Kohlenstoffdioxid fangen  
wir im Messzylinder auf.

## Versuch 3: Eigenschaften von Kohlenstoffdioxid – Trockeneis und gasförmiges CO<sub>2</sub>



### Sicherheitshinweise:

**Trockeneis ist sehr kalt. Auch hier besteht die Gefahr einer Kaltverbrennung bei Berührung mit der Haut. Auf keinen Fall darf man die Trockeneisstückchen anderen in die Kleidung stecken!**

### Geräte/Materialien:

- Temperaturfühler
- Bechergläser
- Teelicht
- Tiegelzange
- Stabfeuerzeug

### Chemikalien

- Trockeneis
- Spülmittel

### Aufgaben zum Trockeneis:

- 1) Miss die Temperatur eines Stückchens Trockeneis mit dem Temperaturfühler und notiere sie.

.....°C

- 2) Stoße ein Stück Trockeneis auf einer glatten Oberfläche mit der Tiegelzange an. Beschreibe, wie es sich bewegt. Warum ist das so?

- 3) Stelle ein brennendes Teelicht in ein passendes Becherglas. Lege ein Stück Trockeneis in ein zweites Becherglas. Gieße das Gas aus dem zweiten Becherglas in das mit der Kerze (siehe Abbildung). Achte darauf, dass das



Trockeneis nicht herausfällt. Falls die Kerze ausgeht, versuche sie mit dem Stabfeuerzeug wieder anzuzünden.

Beschreibe deine Beobachtungen und versuche sie zu erklären:

- 4) Fülle ein kleines Becherglas etwa zur Hälfte mit Wasser. Wirf nun ein Stückchen Trockeneis hinein. Beschreibe deine Beobachtungen.

- 5) Fülle ein kleines Becherglas mit Wasser und gib ein paar Tropfen Spüli hinein. Wirf nun ein Stückchen Trockeneis hinein.

### Zusatzexperimente zu Trockeneis/Kohlendioxid

- Beschreibe jeweils deine Beobachtungen und versuche, sie zu erklären.
- 6) Zünde ein Teelicht in einem 100 ml-Becherglas an. Fülle etwas CO<sub>2</sub>-Gas aus dem Wassersprudler in ein zweites 100 ml-Becherglas. Gieße das Gas über das Teelicht.

- 7) Gib ein kleines Stück Trockeneis in eine leere Brausetablettenhülle und verschließe sie. Stelle die Hülle auf den Tisch (**nicht auf andere Personen richten!**) und warte.

- 8) Gib etwas Trockeneis in einen Luftballon und knote ihn zu.

## Versuch 4a: Die Versauerung der Ozeane: Was macht die Ozeane sauer und welche Folgen hat dies?

**Infotext:** Messungen des pH-Wertes in den Ozeanen zeigen eine zunehmende Versauerung des Wassers. Aktuell liegt der pH-Wert des Meerwassers bei ca. 8,1. Es ist also schwach basisch.

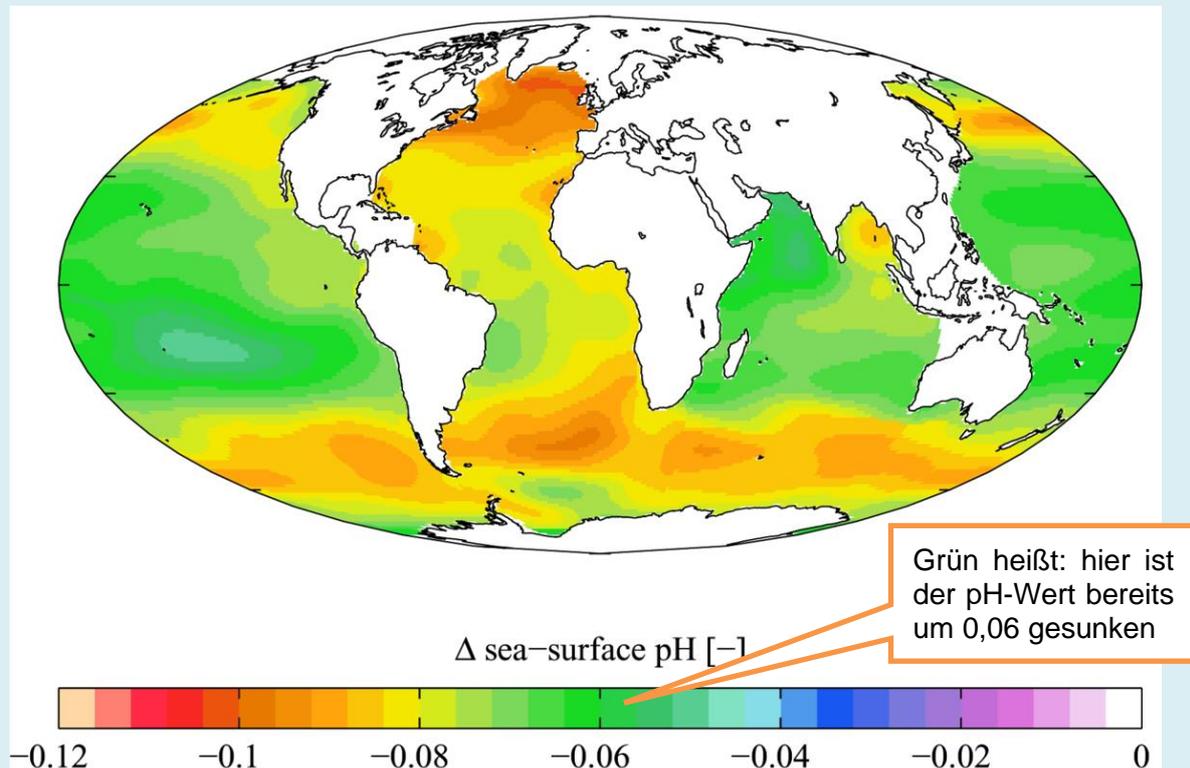


Abbildung 10: Die Grafik zeigt die geschätzte Verringerung des pH-Werts an der Meeresoberfläche durch anthropogenes Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre zwischen ca. 1700 und den 1990er Jahren. In der vorindustriellen Zeit, also vor etwa 150 Jahren, lag dieser Wert bei 8,25. Auch wenn der Abfall von 0,15 pH-Einheiten zunächst gering wirkt, sind die Veränderungen groß. (Bild: Wikipedia).

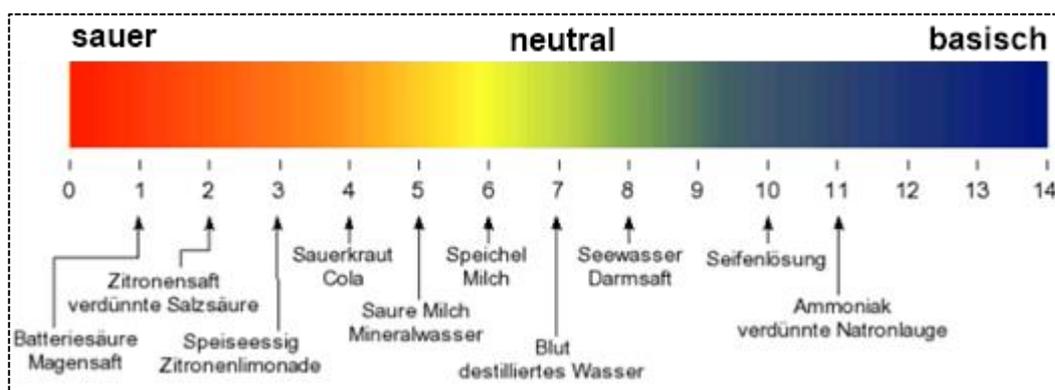
Steigt in der Erdatmosphäre der Gehalt des Treibhausgases  $\text{CO}_2$  (beispielsweise durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe), wird dieses auch vermehrt im Meerwasser gelöst und reagiert dort zu Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ).

+Dies hat fatale Konsequenzen für das Leben dort lebender Algen und Tiere, die an das zunehmend saure Milieu nicht angepasst sind. Außerdem werden z. B. die Schalen von Kalkalgen dünner (siehe Abb.) und Korallen verlieren ihr Kalkskelett.

## Hintergrundwissen für den Versuch:

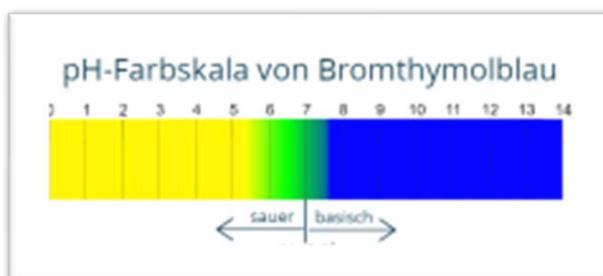
### Was ist der pH-Wert?

- Der pH-Wert gibt an, wie sauer oder basisch eine wässrige Lösung ist. Er ist jedoch **kein** Maß für die Säure- bzw. Basenstärke einer Säure oder Base, da er konzentrationsabhängig ist.
  - **pH < 7:** sauer
  - **pH = 7:** neutral
  - **pH > 7** basisch
- **pH-Skala** (Farben vom Universalindikator):<sup>1</sup>



### Was ist ein Indikator?

Indikator bedeutet „Anzeiger“. In der Chemie ist ein Indikator ein Stoff, der z.B. durch einen Farbwechsel anzeigt, dass sich etwas ändert. Für den Versuch brauchen wir einen pH-Indikator. Dieser zeigt durch Farbwechsel an, ob eine Lösung sauer, basisch oder neutral ist. Hier benutzen wir Bromthymolblau als Indikator. In sauren Lösungen färbt es sich gelb, in neutralen Lösungen grün (die Mischfarbe von Blau und Gelb) und in basischen Lösungen blau.



<sup>1</sup> Quelle: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/p/images/phwert.gif>





**Beschreibung des Versuchsergebnisses in einem Satz:**

**Auswertung:**

Könnt ihr aufgrund des Versuchsergebnisses etwas über die Wirkung von vermehrtem CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf die Meere aussagen? Erläutert eure Schlussfolgerung.

## Versuch 4b: Freisetzung von CO<sub>2</sub> durch die Ozeane - Warum verstärkt die Erwärmung der Ozeane die globale Erwärmung?

**Infotext:** Die Ozeane haben eine Doppelrolle bei der Milderung der globalen Erwärmung: einerseits speichern sie Wärme, andererseits nehmen sie CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf. Wenn jedoch die Temperatur des Wassers zunimmt, verlieren diese Puffer ihre Wirkung: Warmes Wasser nimmt weniger Wärme auf, da die Temperaturdifferenz zur Umgebung geringer wird, und es kann zudem weniger CO<sub>2</sub> lösen, sodass es dies bei höheren Temperaturen sogar wieder freisetzt! Außerdem führt die Versauerung zu einer Auflösung von Kalk, wodurch zusätzliches CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt. Der Wasserdampf, der durch die erhöhten Wassertemperaturen in stärkerem Maße entsteht, ist als Treibhausgas deutlich stärker als CO<sub>2</sub> und führt so zu einer zusätzlichen Verstärkung des Treibhauseffekts.

### Materialien:

- zwei 50 ml-Bechergläser
- Teelicht
- Streichhölzer oder Feuerzeug
- pH-Wert-Tafel

### Chemikalien:

- 20 ml saure Lösung (Versuch 4a)
- Bromthymolblau

### Falls die saure Lösung nicht aus Versuch 4a nicht zur Verfügung steht:

- Erlenmeyerkolben
- Gummistopfen mit Schlauch
- Löffelspatel
- Zitronensäure
- Natriumhydrogencarbonat (Natron)
- Wasser

### Vorbereitung:

Falls die saure Lösung aus dem vorigen Versuch bereits entsorgt wurde, wird eine neue saure Lösung auf die gleiche Weise hergestellt (siehe Abbildungen Versuch 4a).

- Mischt im Erlenmeyerkolben je einen halben Löffelspatel voll Zitronensäure und Natron und gibt anschließend vorsichtig ca. 20 ml Wasser mit dem Messzylinder hinzu.
- Setzt zügig den Stopfen mit dem Schlauch auf den Erlenmeyerkolben.

- Leitet sehr wenig vom entstehenden  $\text{CO}_2$  mit dem Schlauch (nur einige „Blubber“) in das Wasser, bis sich die Lösung gelb verfärbt.

### Durchführung:

- Verteilt die saure Lösung gleichmäßig auf die zwei Bechergläser und stellt eines der Gläser zum späteren Vergleich beiseite.
- Erhitzt die saure Lösung in einem der beiden Bechergläser über dem Teelicht für ca. zwei Minuten.



- Stellt das Glas dann neben die Vergleichslösung und wartet noch einige Minuten.
- Stellt die Bechergläser auf einen weißen Hintergrund. Was könnt ihr beobachten? Gebt eventuell noch 1–2 Tropfen Indikatorlösung in beide Bechergläser.

### Beobachtungen:

### Auswertung:

- Was passiert mit dem gelösten  $\text{CO}_2$  im Wasser, wenn das Wasser im Versuch erhitzt wird?
- Was passiert also mit dem gebundenen  $\text{CO}_2$  im Wasser, wenn sich das Meer erwärmt? Als Gedankenhilfe kann man überlegen: Was passiert mit der Kohlensäure im Sprudelwasser, wenn man es erwärmt?

## Versuch 4c: Wie geht es der Koralle, wenn das Wasser saurer und wärmer wird?

Korallen leben und wachsen in Meeren. Sie sind Polypen (Vielfüßer) und bilden durch Kalkeinlagerung stabile Skelette aus Calciumcarbonat (Kalk). Zu den Meeresbewohnern gehören auch Muscheln. Sie sind Weichtiere (Mollusken), deren Körper durch zwei Kalkschalen geschützt wird.



<https://www.fotocommunity.de/photo/philippinische-korallen-bernd-stahlschmidt/8298402>

Untersuche die Auswirkungen von niedrigen pH-Werten (also Säuren) auf Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) und Muschelschalen.

### Materialien:

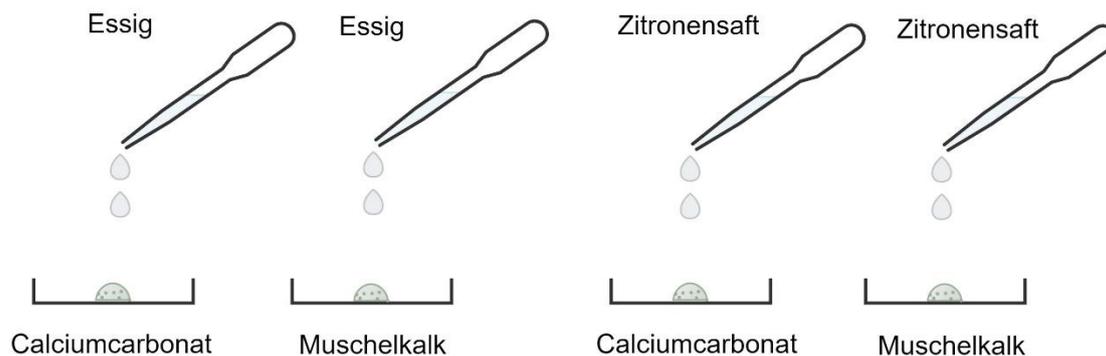
- 4 Petrischalen
- Pipette
- Spatel

### Chemikalien:

- Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ )
- gemörserte Muschelschalen
- Essig oder Zitronensaft
- Indikatorpapier

### Durchführung:

- Gib eine Spatelspitze Calciumcarbonat in eine Petrischale und eine Spatelspitze Muschelkalk in eine weitere Petrischale und tropfe jeweils mit der Pipette etwas Essig hinzu.
- Führe den Versuch erneut durch und nimm jetzt Zitronensaft.
- Bestimme mit dem Indikatorpapier den pH-Wert von Essig und Zitronensaft.



### Beobachtungen:

### Auswertung:

- Erkläre anhand der Versuchsergebnisse, welchen Einfluss ein niedriger pH-Wert auf die Kalkskelette von Korallen und Muschelschalen hat.

## Was passiert mit der Koralle bei Erwärmung der Meere?

Korallen leben in Symbiose von Polyp und Algen, wodurch die Korallen ihre typischen und vielfältigen Farben erhalten. Die Farbe der Korallen kommt durch Algen, die sich an der Oberfläche ansiedeln. Die Koralle scheidet  $\text{CO}_2$  aus und die Algen betreiben Photosynthese mit  $\text{CO}_2$  und Sonnenlicht. Sie bilden Zucker, Sauerstoff und andere Nährstoffe, die wiederum die Koralle benötigt. Eine ideale Symbiose. Steigt nun die Temperatur des Wassers über  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , stoßen die Korallen die Algen innerhalb weniger Stunden ab. Zurück bleibt das weiße Skelett der Koralle. In den vergangenen Jahren konnte diese Störung häufig beobachtet werden. Kühlt sich das Wasser nicht innerhalb weniger Wochen ab, bleibt die Koralle weiß und stirbt langsam ab. Man bezeichnet dieses Phänomen als Korallenbleiche.

Schaut euch die folgende Abbildung an (Quelle: <https://p.dw.com/p/117Ex>). Das linke Bild entstand im Dezember 2014, das rechte im Februar 2015, also nur 2-3 Monate



später (Ort: Pazifikinsel Amerikanisch Samoa).

## Versuch 4d: Die Ozeane als Klimapuffer Wie schützen uns die Ozeane vor einem noch stärkeren Klimawandel?

**Infotext:** Etwa 2/3 der Erdoberfläche sind mit flüssigem Wasser bedeckt und das hat Auswirkungen auf das Erdklima. Denn Wasser ist ein sehr effektiver Wärmespeicher: Eine bestimmte Wassermasse kann deutlich mehr Energie pro Kelvin Temperaturerhöhung aufnehmen als z. B. die gleiche Masse an Luft. So erwärmt sich ein Kilogramm Wasser bei einer Energiezufuhr von 4,2 kJ um 1 K. Wasser hat demnach eine Wärmekapazität von 4,2 kJ/kg K. Luft und trockene Erde hingegen haben eine Wärmekapazität von ca. 1 kJ/ kg K. Es genügt also rund ein Kilojoule, um ein Kilogramm dieser Stoffe um 1 K zu erwärmen. Durch den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt wird der Erdoberfläche, und damit auch den Meeren, zusätzliche Energie zugeführt.

### Materialien:

- wassergefüllter Luftballon
- Teelicht
- Streichhölzer/Feuerzeug

### Durchführung:

- Füllt einen Luftballon mit Wasser (etwa so groß wie ein Tennisball).
- Zündet das Teelicht an.
- Nähert euch nun mit dem Ballon langsam der Flamme an! Wie dicht traut ihr euch, den wassergefüllten Ballon über die Kerze zu halten?
- Fasst den Ballon nach einiger Zeit von unten an. Hat er sich stark erwärmt?
- Macht den Vergleich mit einem luftgefüllten Ballon.



### Beobachtungen:

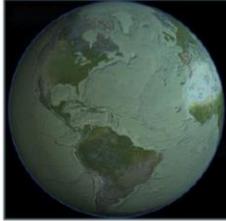
### Auswertung:

- Lest euch den Infotext durch und erklärt eure Beobachtungen.

### Zusatzaufgaben:

- Durch den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt wird der Atmosphäre zusätzliche Energie zugeführt. Erläutert warum die Auswirkungen ohne unsere Ozeane noch drastischer wären, als sie es heute bereits sind.

- Welche dieser zwei Erden hätte eine höhere Oberflächentemperatur und warum?



*Trockene Erde*  
(Credits: Cook, Nieman, USGS)



*Die blaue Perle*  
(Credits: NASA)

## Versuch 5: Die Wirkung von Treibhausgasen - Welche Wirkung haben Treibhausgase auf die Erdtemperatur?

**Infotext:** Die Atmosphäre der Erde besteht hauptsächlich aus Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%). Treibhausgase wie beispielsweise Kohlenstoffdioxid (0,04%) und Methan (0,0002%) sind nur in Spuren vorhanden, haben aber trotzdem eine große Wirkung! Die Moleküle der Treibhausgase absorbieren die unsichtbare Infrarotstrahlung, die die Erdoberfläche abstrahlt, und werden dadurch in Schwingung versetzt. Diese Schwingungsenergie wird anschließend zum Teil in Form von Bewegungsenergie auf Teilchen in der Umgebung übertragen – die Atmosphäre erwärmt sich!

**Fragestellung:** Was passiert nun mit der Temperatur der Atmosphäre, wenn Menschen durch Verbrennung fossiler Brennstoffe große Mengen von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre freisetzen?

Mit den folgenden beiden Experimenten kann man auf zwei verschiedenen Wegen beobachten, dass CO<sub>2</sub> Wärmestrahlung absorbiert.

### Teil 1: CO<sub>2</sub> absorbiert Strahlungsenergie

#### Materialien:

- Keramik-Infrarotstrahler im Schutzkorb
- Pappröhre auf Korkhalterung
- Stopfen, Frischhaltefolie und Gummis
- Digitalthermometer
- Erlenmeyerkolben mit Stopfen und Schlauch

#### Chemikalien:

- Natron,
- Zitronensäure
- Wasser

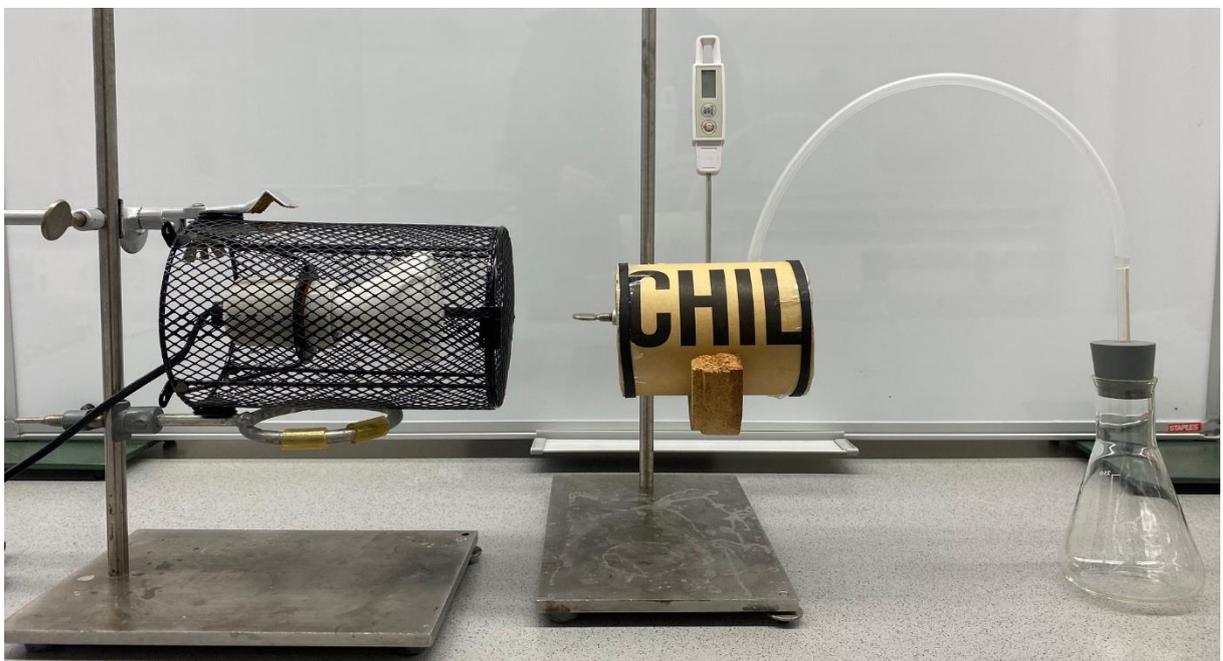
**Achtung! Sehr heißer Strahler: Verbrennungsgefahr!**

**Chemikalien: Schutzbrille tragen!**

## Vorbereitung:

- Befestigt den Keramik-Infrarotstrahler mit Schutzkäfig am Stativ,
- Verschließt die großen Öffnungen der Pappröhre mit Frischhaltefolie und Haushaltsgummis und befestigt die Pappröhre dann so mit Gummis auf der Korkhalterung, dass der Abstand zwischen Infrarotstrahler und Dose 8 cm beträgt.
- Steckt das Thermometer in das kleine Loch in der Mitte (sodass die Spitze mittig in der Röhre ist) und verschließt die beiden anderen Löcher (CO<sub>2</sub>-Zufuhr und Luftauslass) mit je einem Stopfen.
- Schaltet den Infrarotstrahler ein.
- Wartet, bis sich die Temperatur in der Dose innerhalb von 30 Sekunden nicht mehr ändert und man davon ausgehen kann, dass die Gleichgewichtstemperatur erreicht ist (ca. 27 °C). Dies kann bis zu 25 Minuten dauern, wenn der Strahler noch nicht aufgeheizt war.
- Sobald die Gleichgewichtstemperatur erreicht ist, wird im nächsten Schritt (Durchführung) CO<sub>2</sub> in die Pappröhre zugeführt.

## Aufbau:



### Durchführung:

- Startet das Experiment, wenn die Gleichgewichtstemperatur erreicht ist. Notiert diese, bevor ihr fortfahrt!
- Erzeugt nun  $\text{CO}_2$  und leitet es in die Dose: Je zwei Teelöffel Natron und Zitronensäure im Erlenmeyerkolben (noch ohne Wasser) mischen und die beiden kleinen Stopfen. Die aus der Dose entfernen. Dann den Schlauch durch eines der Löcher schieben, ca. 30 ml Wasser zur Säure-Natron-Mischung geben und den Stopfen mit Schlauch zügig aufsetzen!
- Schwenkt den Erlenmeyerkolben leicht und entfernt nach ca. eineinhalb Minuten den Schlauch wieder aus der Dose. Verschließt nun die Löcher zügig wieder mit den kleinen Stopfen – die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Dose ist nun stark erhöht - viel höher als sie es auf der Erde ist. Dies ist notwendig, da das Papprohr ja nur einige cm lang ist, die Atmosphäre jedoch einige km dick!
- Beobachtet die gemessene Temperatur in den nächsten Minuten und wartet, bis sich erneut eine Gleichgewichtstemperatur einstellt. Notiert deren Wert und vergleicht mit der vorigen Temperatur.

### Beobachtungen:

**Aufgabe:** Welche Teile des Experiments entsprechen welchem Teil in der Realität?  
Verbindet die Kreise.

<u>Experiment</u>		<u>Realität</u>
Luft in der Dose	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> zusätzliche Treibhausgase
Keramik- Infrarotstrahler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Atmosphäre der Erde mit normaler CO <sub>2</sub> - Konzentration
im Erlenmeyerkolben erzeugtes CO <sub>2</sub>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> Erdboden

**Aufgabe:** Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre wird in parts per million (ppm) gemessen. Es wird also angegeben, wie viele Moleküle CO<sub>2</sub> eine Million Moleküle trockene Luft enthält.

- Sucht im Internet nach „NASA CO<sub>2</sub>“ und recherchiert dort die aktuelle CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre. Vergleicht diese auch mit den historischen Werten der letzten 800.000 Jahre in der Abbildung dort.
- Was führt seit etwa dem 19. Jahrhundert zum beobachteten Anstieg der Treibhausgaskonzentration? Wie hängt das Experiment mit diesen Daten zusammen?

## Teil 2: Infrarotstrahlung wird abgefangen

Zusätzlich zur Messung der Temperatur in der Dose kann die Strahlung gemessen werden, welche durch die Dose hindurchgeht (Transmission).

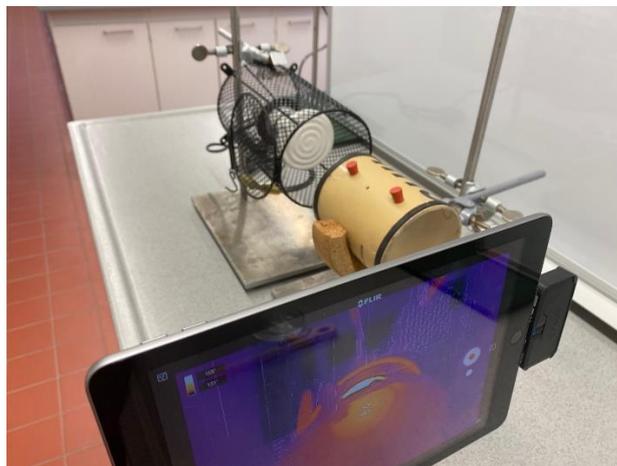
### Materialien:

- Materialien wie beim Experiment oben
- zusätzlich: Wärmebildkamera und Stativ

### Achtung! Sehr heißer Strahler: Verbrennungsgefahr!

### Vorbereitung:

- Öffnet für diesen Versuch vorsichtig den Schutzkorb (Verbrennungsgefahr!), sodass sich kein Gitter zwischen Infrarotstrahler und Pappröhre befindet.
- Befestigt die Wärmebildkamera so auf dem Stativ, dass die Wärmestrahlung durch die Pappröhre auf die Messöffnung der Wärmebildkamera trifft und das Zielkreuz auf dem Wärmestrahler liegt.



### Durchführung:

- Wartet, bis die Temperatur konstant bleibt (wie oben) und beobachtet dann die Temperaturanzeige (und das sichtbare Bild) der Wärmebildkamera beim Einfüllen von CO<sub>2</sub> in die Pappröhre.

### Beobachtungen:

### Auswertung:

Interpretiert das Ergebnis! Beachtet dabei, dass eine Wärmebildkamera die Temperatur eines Objektes über die ausgesandte Wärmestrahlung berechnet.

### Teil 3: Warum führt eine Absorption von Infrarotstrahlung in der Atmosphäre zu einer Erwärmung der Erdoberfläche?

#### Materialien:

- Keramik-Infrarotstrahler im Schutzkorb
- Glas-Petrischale
- Wärmebildkamera
- Reagenzglasklammer

#### Durchführung:

Die Glas-Petrischale wirkt im folgenden Versuch wie eine sehr dichte Treibhausgas-Atmosphäre, die fast die komplette Wärmestrahlung des Infrarotstrahlers (Modell für die strahlende Erdoberfläche) absorbiert.

- Beobachtet den Infrarotstrahler mit der Wärmebildkamera zunächst ohne Glasplatte und schiebt dann die Petrischale mit der Reagenzglasklammer nah am Schutzkorb teilweise ins Bild, sodass der Wärmestrahler im Bild sichtbar bleibt und ihr den Unterschied mit und ohne Glasplatte beobachten könnt.
- Notiert eure Beobachtungen und wartet ca. zwei Minuten, während die Glasscheibe Strahlungsenergie absorbiert.
- Betrachtet nun direkt im Anschluss die Glasschale mit der Wärmebildkamera von allen Seiten. Dass die Glasschale in alle Richtungen abstrahlt, ist ein weiterer entscheidender Baustein zum Verständnis des Treibhauseffekts.



*Absorption Modellatmosphäre*



*Rückstrahlung Modellatmosphäre*

## Beobachtungen:

**Erklärt, indem ihr die Satzbausteine in die richtige Reihenfolge bringt:**

- Durch die Aufnahme dieser Strahlungsenergie erwärmt sich die Atmosphäre.
- Treibhausgase in der Atmosphäre (Glas-Petrischale) absorbieren einen Teil der von der Erde ausgehenden Wärmestrahlung.
- Aufgrund dieser zweiten Strahlungsquelle (also Sonne + Atmosphäre) erwärmt sich die Erdoberfläche – und zwar umso stärker, je mehr Energie die Atmosphäre durch Treibhausgase absorbiert.
- Die Atmosphäre gibt die absorbierte Energie nun wiederum gleichmäßig in alle Richtungen ab, also auch in Richtung Erde.

## Quellen:

Der Großteil des Skripts beruht auf den Materialien zum Experimentiertag „Bestandteile der Luft“ aus dem Programm des Merck-TU Darmstadt-Juniorlabors.

Einige Versuche stammen (modifiziert) aus dem Handbuch „Der Klimawandel: verstehen und handeln. Ein Bildungsprogramm für Schulen der Fakultät für Physik der LMU München:

[https://klimawandel-schule.de/materialien/Handbuch/Handbuch\\_Klimawandel.pdf](https://klimawandel-schule.de/materialien/Handbuch/Handbuch_Klimawandel.pdf)

Mehr Informationen und Materialien gibt es hier:

<https://klimawandel-schule.de/>

Auch aus dem Schülerskript „HaZweiO – über Klima, Eisberge und Pflanzen“ des NaT-Labs für Schülerinnen und Schüler der Johannes Gutenberg-Universität Mainz wurden Aspekte in modifizierter Form übernommen.

Grafiken wurden mit Biorender.com, chemix.org und Powerpoint erstellt.