

Name:

Datum:

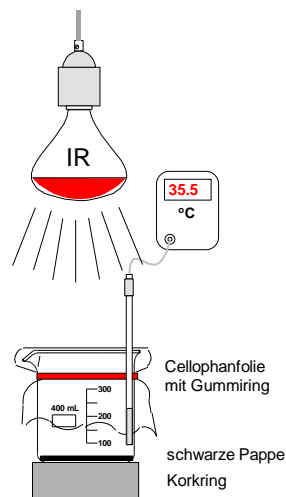
Erwärmung von Gasen durch IR-Strahlung Vergleich von Luft und Kohlenstoffdioxid – Variante A

Geräte:

Becherglas (400 mL), schwarze Pappe (rund, ca. 6 cm Durchmesser), Thermoelement, Mini-computer, USB-Stick, Korkring, Cellophanfolie, Gummiring, Infrarotlampe (Sanitas SIL 06 100 Watt), Stativ, Klemme, Muffe, Lineal, Kreide, Holzspan, Streichhölzer, Becherglas mit Löschwasser (100 mL), Klebeknete UHU Patafix, Stoppuhr

Material:

Luft, Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus dem SodaStream Gerät, Leitungswasser



Durchführung

1. Befestige die Lampe mit Hilfe von Klemme und Muffe so am Stativ, dass die Strahlung aus 35 cm Abstand senkrecht auf die Tischplatte trifft. Schalte die Lampe ein, so dass sie warm werden kann (ca. 5 Minuten).
2. Befestige das Kabel vom Thermoelement mit Patafix so in dem 400 mL Becherglas, dass der metallene Messfühler senkrecht und parallel zum Becherglas hängt. Das untere Ende vom Messfühler soll sich 1 cm oberhalb des Bodens vom Becherglas befinden (eventuell bereits vorbereitet).
3. Stelle das Becherglas auf den Korkring und lege die runde schwarze Pappe hinein. Markiere die Position des Korkrings mit Kreide.
4. Decke das Becherglas mit Cellophanfolie ab und fixiere die Folie mit einem Gummiring.
5. Es soll nun eine Temperaturmessung über 30 Minuten durchgeführt werden. Überprüfe, ob der Minicomputer richtig eingestellt ist (Zeitmessung, Temperatur, Messdauer 1800 s, Messintervall 30 s). Nimm aber nicht selbständig Veränderungen vor!

6. Starte anschließend die Messung, indem du auf das Feld „messen“ am Minicomputer drückst.
7. Stelle das Stativ mit der IR-Lampe so hin, dass das Becherglas auf dem Korkring gleichmäßig von oben bestrahlt wird.
Miss den Abstand zwischen Lampe und oberem Rand des Becherglases.
Abstand: _____ cm
8. Notiere die gemessenen Temperaturen vom Minicomputer für 0 s, 600 s, 1200 s und 1800 s unten in der Tabelle.
9. Schalte die Lampe nach Ende der Messzeit aus und stelle sie mit dem Stativ an die Seite.
10. Schiebe das Becherglas mit dem Korkring zur Seite und entferne die Cellophanfolie.
11. Lass die Gefäße vor der nächsten Messung etwa 15 Minuten abkühlen. Die schwarze Pappe und der Messfühler bleiben im Becherglas.
12. Speichere die Messdaten auf einem USB-Stick, indem du auf der Menüleiste „speichern“ drückst. Es öffnet sich ein Fenster auf dem Bildschirm, so dass du der Datei einen Namen geben kannst und als Speicherort den verwendeten Stick auswählen kannst. Im Fenster, das sich dann ganz rechts geöffnet hat, drückst du dort auf das Feld „speichern“.
13. Du kannst die Kurve und die Messdaten anschließend mit Hilfe eines PCs und Druckers ausdrucken.

Messwerte:

Zeit [s]	Temperatur [°C] mit Luft im Becherglas	Temperatur [°C] mit CO ₂ im Becherglas
0		
600		
1200		
1800		

Welche Beobachtungen hast du gemacht? Wie verändert sich die Temperatur der Luft im Becherglas?

14. Führe im Anschluss die Messung mit CO₂ durch. Schalte vorher die Lampe wieder für 5 Minuten ein.
15. Decke das 400 mL Becherglas zunächst zur Hälfte mit der Cellophanfolie ab. Fülle nun mit Hilfe des Schlauchs des SodaStream Gerätes viermal 5 Sekunden lang CO₂ in den unteren Teil des Becherglases.
16. Überprüfe mit Hilfe eines glimmenden Holzspans, ob sich tatsächlich CO₂ im Becherglas befindet.

Dazu zündest du den Holzspan an und entsorgst das verwendete Streichholz in dem Becherglas mit Löschwasser. Wenn die Flamme am Holzspan gut brennt, pustest du sie aus. Der Holzspan soll noch glimmen. Den glimmenden Holzspan führst du langsam in das Becherglas, ohne die Cellophanfolie zu berühren.

Der Span sollte schon im oberen Drittel des Becherglases aufhören zu glimmen. Ist das nicht der Fall, füllst Du noch einmal CO₂ nach.

17. Verschließe das Becherglas mit Cellophanfolie und Gummiring und stelle es mit dem Korkring auf die mit Kreide markierte Position.
18. Miss nun die Temperaturänderung des CO₂ unter der Lampe, indem du die Punkte 6. bis 12. wiederholst.
19. Überprüfe im Anschluss an die Messung mit einem glimmenden Holzspan, ob sich das CO₂ noch im Becherglas befindet (siehe Punkt 16.).

Welche Beobachtungen hast du gemacht? Wie verändert sich die Temperatur der Luft im Becherglas?

Auswertung:

Berechne für die beiden Messungen die Differenzen zwischen dem Anfangswert und der Temperatur nach 10 Minuten, 20 Minuten und 30 Minuten Messzeit.

Trage die Werte in die Tabelle ein:

	Temperaturdifferenz nach 10 Min.	Temperaturdifferenz nach 20 Min.	Temperaturdifferenz nach 30 Min.
Becherglas mit Luft			
Becherglas mit CO₂			

Wie verändert sich die Temperaturdifferenz im Verlauf der Messzeit von 30 Min.?

Welchen Unterschied kannst du zwischen Luft und CO₂ feststellen?

Was denkst du, was mit der Temperatur auf der Erde geschieht, wenn sich viel CO₂ in der Atmosphäre befindet?

Name:

Datum:

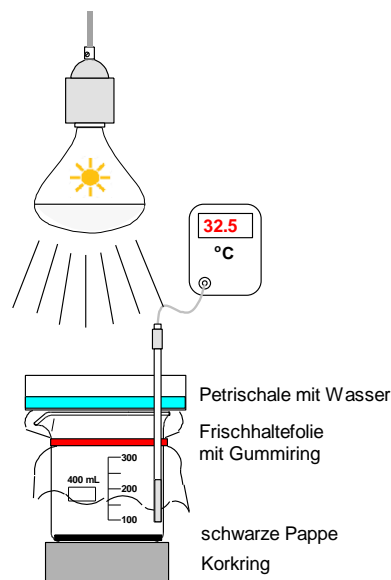
Modell für den Treibhauseffekt Vergleich von Luft und Kohlenstoffdioxid – Variante B

Geräte:

Becherglas (400 mL), schwarze Pappe (rund, den Boden vom Becherglas bedeckend), Thermoelement, Minicomputer, USB-Stick, Glaspetrischale (9 cm Durchmesser), Korkring, Frischhaltefolie, Gummiring, Lampe mit Leuchtmittel (Philips PAR38 EC, SPOT 12, 230 V, 120 W), 2 Stative, 2 Klemmen, 2 Muffen, Stativstange, Lineal, Folienstift, Messzylinder (50 mL), Kreide, Klebknete UHU Patafix, Holzspan, Streichhölzer, Becherglas mit Löschwasser (100 mL), Stoppuhr

Material:

Luft, CO₂ aus dem SodaStream Gerät, dest. Wasser, Leitungswasser



Durchführung

1. Hänge die Lampe auf die bereits mit zwei Muffen zwischen den Stativen befestigte Stange. Richte die Lampe so aus, dass sie aus 35 cm Abstand senkrecht auf die Tischplatte strahlt.
2. Stelle den Korkring mittig unter die Lampe und markiere seine Position mit Kreide auf dem Tisch.
3. Entferne die Lampe dann wieder von der Stange und schalte sie für etwa 5 Minuten ein, damit sie warm wird.
4. Lege die runde schwarze Pappe in das 400 mL Becherglas.
5. Befestige das Kabel vom Thermoelement mit Patafix so in dem Becherglas, dass sich der metallene Messfühler senkrecht und parallel zum Becherglas befindet. Das untere Ende vom Messfühler soll sich 1 cm oberhalb des Bodens vom Becherglas befinden (eventuell bereits vorbereitet).
6. Stelle das Becherglas auf den Korkring.

7. Decke das Becherglas mit Frischhaltefolie ab und fixiere die Folie mit Hilfe eines Gummiringes.
8. Fülle mit Hilfe des Messzylinders 35 mL dest. Wasser in die Glaspetrischale, und stelle die Schale vorsichtig **auf** das 400 mL Becherglas.
9. Es soll nun eine Temperaturmessung über 30 Minuten durchgeführt werden. Überprüfe, ob der Minicomputer richtig eingestellt ist (Zeitmessung, Temperatur, Messdauer 1800 s, Messintervall 30 s). Nimm aber nicht selbständig Veränderungen vor!
10. Starte anschließend die Messung, indem du auf das Feld „messen“ am Minicomputer drückst.
11. Hänge sofort danach die inzwischen vorgewärmte Lampe in ihre Position, so dass das Becherglas von oben bestrahlt wird.
12. Notiere die Messwerte für die Temperatur nach 0 s, 600 s, 1200 s und 1800 s in der unten folgenden Tabelle.
13. Schalte nach Abschluss der Messung die Lampe aus.
14. Gieße das Wasser aus der Petrischale und kühle sie unter Leitungswasser ab.
15. Entferne die Frischhaltefolie vom Becherglas und lass alle Geräte vor der nächsten Messung mindestens 15 Minuten abkühlen. Die schwarze Pappe und der Messfühler bleiben im Becherglas.
16. Speichere die Messdaten auf dem USB-Stick, indem du in der Menüleiste auf „speichern“ drückst. Es öffnet sich ein Fenster, so dass du der Datei einen Namen geben kannst und als Speicherort den verwendeten Stick auswählen kannst (anklicken). Im neuen rechten Fenster drückst du dann auf das Feld „speichern“.
17. Eine Betreuungskraft aus dem Labor druckt für dich die Messdaten und die Messkurve deiner gespeicherten Messung aus.

Messwerte:

Zeit [s]	Temperatur [°C] mit Luft im Becherglas	Temperatur [°C] mit CO ₂ im Becherglas
0		
600		
1200		
1800		

Welche Beobachtungen hast du gemacht? Wie verändert sich die Temperatur der Luft im Becherglas?

18. Führe im Anschluss die Messung mit CO₂ durch. Schalte dazu die Lampe wieder für etwa 5 Minuten ein.
19. Decke das 400 mL Becherglas zunächst zur Hälfte mit der Frischhaltefolie ab. Fülle nun mit Hilfe des Schlauchs des SodaStream Gerätes viermal hintereinander jeweils für 5 Sekunden CO₂ in den unteren Teil des Becherglases.
20. Überprüfe mit Hilfe eines glimmenden Holzspans, ob sich tatsächlich CO₂ im Becherglas befindet.

Dazu zündest du den Holzspan an und entsorgst das verwendete Streichholz in dem Becherglas mit Löschwasser. Wenn die Flamme am Holzspan gut brennt, pustest du sie aus. Der Holzspan soll noch glimmen. Den glimmenden Holzspan führst du langsam in das Becherglas, ohne die Cellophanfolie zu berühren.

Der Span sollte schon im oberen Drittel des Becherglases aufhören zu glimmen. Ist das nicht der Fall, kannst Du noch einmal CO₂ nachfüllen.

21. Führe die Messung mit dem mit CO₂ gefüllten Becherglas wie unter Punkt 10 bis 15 beschrieben durch.
22. Überprüfe im Anschluss an die Messung mit einem glimmenden Holzspan, ob sich das CO₂ noch im Becherglas befindet (siehe Punkt 20).
23. Speichere die Daten wie unter Punkt 16 beschrieben.

Welche Beobachtungen hast du gemacht? Wie verändert sich die Temperatur vom CO₂ im Becherglas?

Auswertung:

Berechne für jede Messung die Differenzen zwischen dem Anfangswert und der Temperatur nach 10 Minuten, 20 Minuten und 30 Minuten Messzeit.

Trage die Werte in die Tabelle ein.

	Temperaturdifferenz nach 10 Min.	Temperaturdifferenz nach 20 Min.	Temperaturdifferenz nach 30 Min.
Becherglas mit Luft			
Becherglas mit CO₂			

Wie verändert sich die Temperaturdifferenz im Verlauf der Messzeit von 30 Min.?

Welchen Unterschied kannst du zwischen Luft und CO₂ feststellen?

Was denkst du, was mit der Temperatur auf der Erde geschieht, wenn sich viel CO₂ in der Atmosphäre befindet?

Informationen zu den Versuchen „Erwärmung von Gasen durch IR-Strahlung“ und „Modell für den Treibhauseffekt“

Mit Hilfe eines Modells zum Treibhauseffekt, das aus einfachen Laborgeräten aufgebaut ist, soll den Schülerinnen und Schülern gezeigt werden, was man im Zusammenhang mit klimarelevanten Fragestellungen unter dem Treibhauseffekt versteht. Durch die vergleichende Untersuchung von Luft und CO₂ soll dabei herausgefunden werden, dass CO₂ einen solchen Treibhauseffekt zeigt und sein stetiger Anstieg somit in wesentlichem Maße zur globalen Erwärmung beiträgt.

Zum einen wird der Aufbau so reduziert, dass allein die direkte (Wechsel)wirkung von IR-Strahlung und CO₂ im Vergleich zu Luft betrachtet wird, um das Phänomen isoliert von anderen Einflüssen beobachten zu können. In einem zweiten Experiment werden in einem komplexeren Versuchsaufbau Erde, Wolken und Sonne einbezogen, um die Realität möglichst umfassend abzubilden und das Experiment für die SchülerInnen anschaulich zu gestalten.

Bei der Entwicklung dieser Versuche sind wir auf grundlegende Schwierigkeiten gestoßen, die hier kurz thematisiert werden sollen, weil sie für die Belastbarkeit von naturwissenschaftlichen Experimenten und ihrer Deutung ebenso wichtig sind wie die Phänomene selbst. Die Verhältnisse von Erde, Sonne und Atmosphäre in einem Laborexperiment nachzustellen, ist schon wegen der gewaltigen Dimensionen dieses Systems eine extreme Herausforderung. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass wir Phänomene, die über viele Jahre zu kleinen Effekten führen, im Zeitraffer einer Laborstunde sichtbar machen müssen. Für ForscherInnen in diesem Feld ist normalerweise die Natur das Labor. Sie beobachten, sammeln Daten, erweitern die Zeitachse durch Blick in die Vergangenheit (Paläoforschung), deuten und modellieren.

Wir sperren nun die Atmosphäre in ein 400 mL-Becherglas. Im Gegensatz zur Erde und ihrer offenen Atmosphäre muss in unseren Versuchen dieses Becherglas, das jeweils Luft oder CO₂ enthält, verschlossen werden, weil das CO₂ sonst während des Versuchs entweicht. Dies geschieht mit einer Folie, in dem komplexeren Aufbau zusätzlich durch eine Glas-Petrischale, die Wasser als Modell für Wolken enthält. Wir behindern also durch das Verschließen auch die Konvektion, das Aufsteigen des wärmeren Gases. Damit erzeugen wir einen zusätzlichen Effekt, wie er auch in Glashäusern („Treibhaus“) auftritt. Neben dieser Barrierefunktion absorbiert Glas auch IR-Strahlung, so dass damit die Erwärmung im Becherglas weiter gefördert wird. Bei den Folien muss man zum einen die Gasdurchlässigkeit, zum anderen ihre Transparenz für IR-Strahlung betrachten. Daher wird bei dem einfacheren Versuch Cellophan verwendet, weil es eine geringere Gasdurchlässigkeit aufweist als Frischhaltefolie aus Polyethylen (PE). In der Kombination mit der Glas-Petrischale genügt PE-Folie, die weitestgehend transparent für IR-Strahlung ist.

Nun mag man sich fragen, ob die Ergebnisse bei all diesen Einschränkungen noch aussagekräftig sind. – Ja, das sind sie. Dies wird dadurch erreicht, dass jeweils alle (!) Randbedingungen konstant gehalten werden und nur das Gas im Becherglas ausgetauscht wird. So kann der beobachtete Effekt allein auf das CO₂ zurückgeführt werden. Da aber all die anderen Randbedingungen des Versuchsaufbaus auch einen Effekt haben, ist es sehr wichtig, dass man hier auf die exakte Gleichheit in Aufbau und Durch-

führung achtet. Wir messen also keine absoluten Effekte, sondern relative in einem Referenzsystem.

Es kann in diesem Zusammenhang die wissenschaftliche Methode zur Erforschung von Ursachen beobachteter Phänomene thematisiert werden. Für die Aussagefähigkeit von Experimenten spielen Komplexität oder Reduktion eine wichtige Rolle. Auch das Konstanthalten aller Parameter bis auf den, dessen Effekt ich studieren möchte, ist ein grundlegendes Prinzip.

Hintergrund

Beim Treibhauseffekt unterscheidet man zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen (von Menschen verursachten) Treibhauseffekt, die aber physikalisch nach demselben Prinzip funktionieren. Der natürliche Treibhauseffekt bezieht sich hauptsächlich auf den durch den Wasserdampf in der Atmosphäre verursachten und ist der Grund dafür, dass die mittlere Temperatur auf der Erde +15 °C beträgt und damit Leben überhaupt möglich ist. Ohne diesen Treibhauseffekt betrüge die mittlere Temperatur -18 °C!¹

Durch die Bestrahlung mit Sonnenlicht erwärmt sich die Erdoberfläche, denn etwa die Hälfte der Solarstrahlung wird absorbiert.¹ Die Erdoberfläche strahlt in Abhängigkeit von ihrer Temperatur wieder Wärme ab, wobei die Leistung P der Abstrahlung proportional zur Temperatur T ist (nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz ist P proportional zu T^4).²

Die im Vergleich zum eingefallenen Licht längerwellige Wärmestrahlung (Infrarot, IR) verschwindet aber nicht ungehindert in den Weltraum, sondern ein Teil wird von Gasen in der Atmosphäre zunächst absorbiert (Abb. 1).³ Zu diesen „natürlichen Treibhausgasen“, die zu einem geringen Anteil in der bodennahen Luft vorhanden sind, gehören Wasserdampf (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) und Ozon (O_3) (Tabelle 1).⁴

Tabelle 1: Gegenwärtige Zusammensetzung trockener und reiner atmosphärischer Luft in Bodennähe

Gas		Volumenanteil [%]	Anmerkung
Stickstoff	N_2	78,084	
Sauerstoff	O_2	20,946	
Argon	Ar	0,934	
Kohlendioxid	CO_2	0,0382	zunehmend
Neon	Ne	0,001818	
Helium	He	0,000524	
Methan	CH_4	0,000177	zunehmend
Krypton	Kr	0,000114	
Wasserstoff	H_2	0,000052	
Distickstoffoxid	N_2O	0,000032	zunehmend
Xenon	Xe	0,000009	

Die meisten dieser Gase werden von Quellen an der Erdoberfläche emittiert, während das Ozon aus der Stratosphäre in die bodennahe Troposphäre transportiert wird und

eine sehr kurze Lebenszeit hat.⁵ Das wichtigste natürliche Treibhausgas ist dabei der Wasserdampf, da er für etwa 60 % des natürlichen Treibhauseffektes verantwortlich ist.⁶

Die Gase geben die aufgenommene Wärmestrahlung ungerichtet wieder ab. Die von der Erde kommende Strahlung wird also zu etwa 50 % umgelenkt, wodurch es zu einem Wärmestau in der unteren Atmosphäre kommt, also einem Treibhauseffekt. Durch Aufnahme und Abgabe von Energie stellt sich letztendlich in der bodennahen Atmosphäre eine Gleichgewichtstemperatur ein.

Der anthropogene Treibhauseffekt (Abb. 1)³ tritt seit Beginn des Industriezeitalters auf und wird sowohl durch die Erhöhung der Konzentration von natürlichen Treibhausgasen, als auch durch neue, sehr langlebige Treibhausgase, den FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe (Verwendung seit 1990 stark eingeschränkt bzw. verboten)⁷ oder dem als Isolator für Hochspannungsanlagen verwendeten Schwefelhexafluorid (SF₆)⁸ verursacht. Für den anthropogenen Treibhauseffekt ist bisher hauptsächlich das CO₂ verantwortlich (66 %),⁹ da es in großen Mengen insbesondere durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Erdöl, Kohle) gebildet wird. Fossile Brennstoffe werden in erster Linie für die Energieerzeugung, in der Industrie, für die Mobilität und im Haushalt (v. a. Heizen)¹⁰ genutzt.

Auf den anthropogenen Treibhauseffekt wird der Anstieg der Temperatur in der Erdatmosphäre zurückgeführt (globale Erwärmung), mit weitreichenden Konsequenzen für die Erde (Gletscherschmelze, steigende Meeresspiegel, mehr Extremwetterereignisse, Waldbrände, Dürren, Überschwemmungen). Laut Aussage vom Umweltbundesamt ist die bodennahe Lufttemperatur in der Zeit von 1906 bis 2005 global um 0,74 °C gestiegen.¹¹ Um die Folgen für das Klima in Grenzen zu halten, hat der Weltklimarat (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 2018 die Empfehlung ausgesprochen, den Temperaturanstieg langfristig auf 1,5 °C zu begrenzen.¹² Dieses Ziel soll durch Reduktion der Emission von Treibhausgasen erreicht werden.

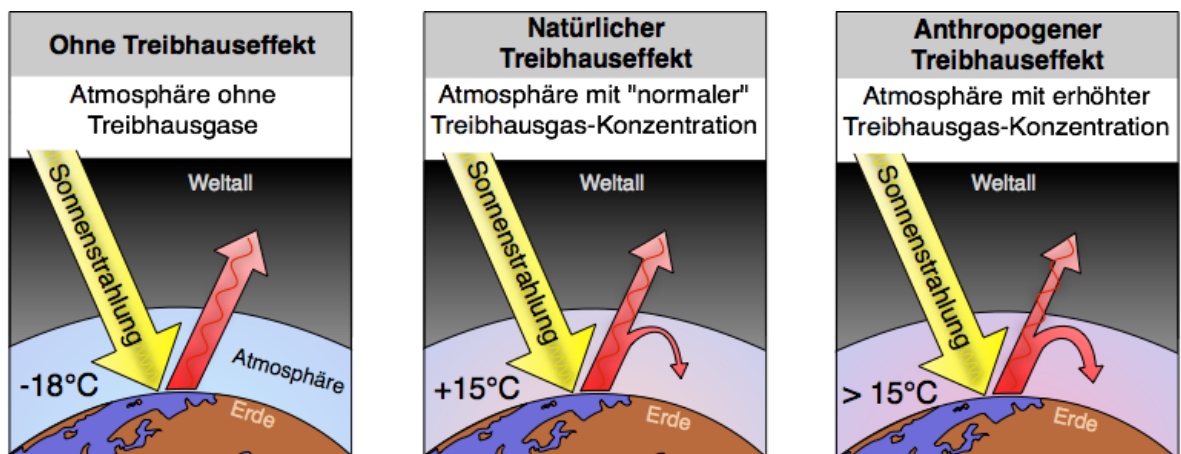


Abb. 1: Schematische Darstellung des natürlichen Treibhauseffekts und seiner anthropogenen Verstärkung³

Es stellt sich an dieser Stelle die Frage, weshalb es gerade die in Spuren in der Luft vorkommenden Gase wie H₂O, CO₂ und CH₄ sind, die den Treibhauseffekt erzeugen, während die Hauptbestandteile der Luft, Stickstoff (N₂) und Sauerstoff (O₂), keinen Anteil daran haben.

Voraussetzung für die Erwärmung ist, dass IR-Strahlung aufgenommen und abgegeben und somit umgelenkt werden kann. Diese elektromagnetische Strahlung kann nur von Molekülen absorbiert werden, die wie das CO_2 aus mindestens drei Atomen oder aber zwei verschiedenen Atomen bestehen. Das hängt damit zusammen, dass nur Schwingungen IR-aktiv sind, bei denen sich das Dipolmoment ändert. In den CO_2 -Molekülen gibt es neben der unsymmetrischen Streckschwingung und zwei gleichwertigen Deformationsschwingungen noch eine symmetrische Schwingung, bei der sich die Ladungsverteilung nicht verändert und die dementsprechend nicht durch IR-Strahlung angeregt werden kann (Abb. 2). Die symmetrischen zweiatomigen Gase N_2 und O_2 besitzen hingegen keine IR-aktiven Schwingungsmöglichkeiten.

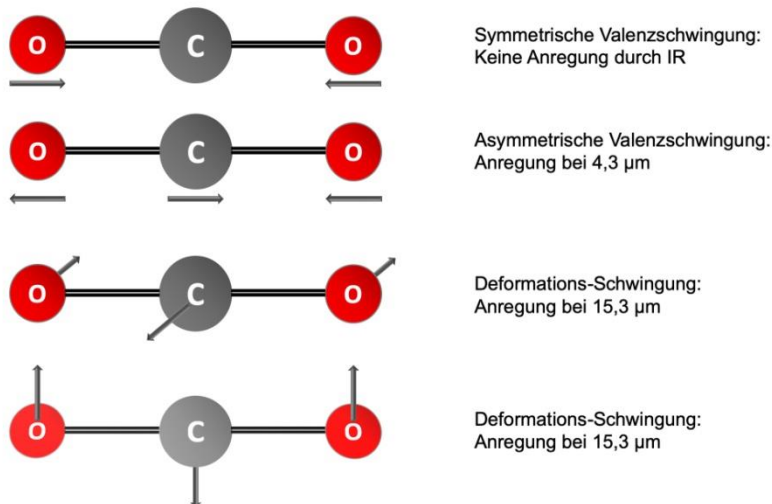


Abb. 2: Schwingungen und IR-Absorptionen des CO_2 -Moleküls

Das CO_2 absorbiert Wärmestrahlung bei Wellenlängen von 4,3 μm und 15,3 μm (Abb. 3),¹³ was in dem Bereich von der Erdoberfläche abgestrahlten Energie liegt (3 – 70 μm). Durch die wiederholte Aufnahme und Abgabe der Strahlung durch das CO_2 wird die gerichtete Abstrahlung Richtung Weltall gestört. Das Ergebnis ist die Erwärmung der Atmosphäre.

Andere Atmosphäregase wie H_2O und CH_4 absorbieren IR-Strahlung bei anderen Wellenlängen (Abb. 3).¹⁴ Diese Wellenlängen treten folglich weniger intensiv in der Abstrahlung der Atmosphäre auf (Abb. 3, blaues Spektrum, Infrarot-Bereich).

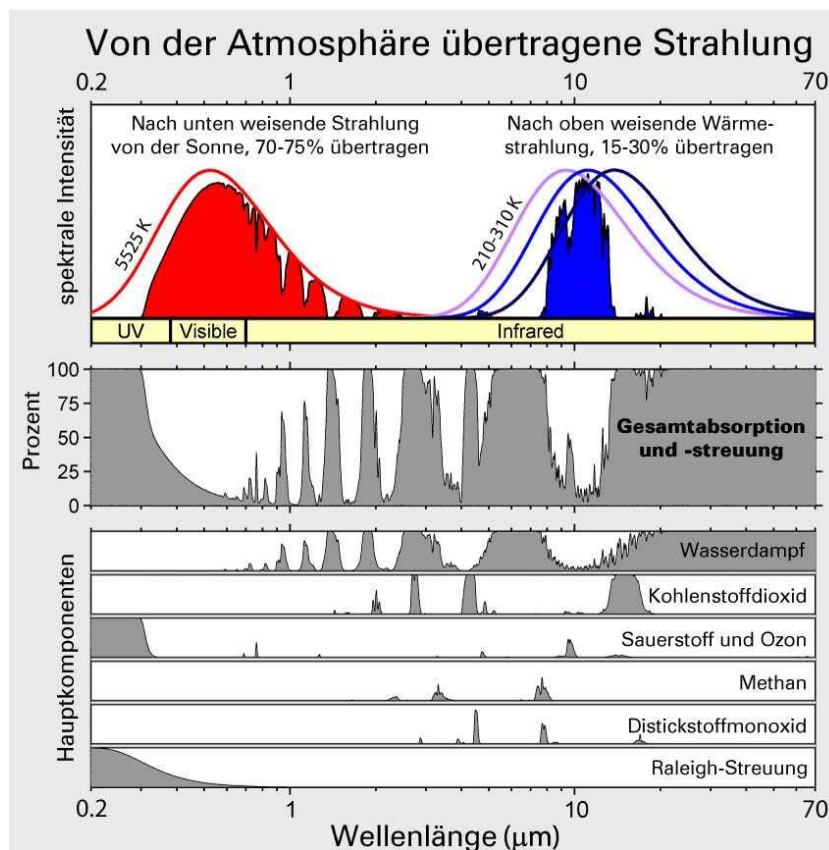


Abb. 3: Wärmeabstrahlung der Erde und Absorptionsvermögen der Treibhausgase¹³

Erklärungen zu den Versuchen

Variante A: Erwärmung von Gasen durch IR-Strahlung

In Variante A wird untersucht, wie sich Luft und CO_2 in Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung verhalten. Hier wird der Aufbau im Vergleich zu Variante B reduziert. Es werden im Becherglas nacheinander Luft bzw. CO_2 direkt mit einer IR-Lampe (Wärmestrahlung) bestrahlt. Auf eine Wasserschicht wie in Variante B wird verzichtet (Wolken) und daher zur Abdeckung Cellophanfolie verwendet, da Cellophanfolie für Gase wie Sauerstoff und CO_2 weniger durchlässig ist.¹⁴

Die Temperatur wird über 30 Minuten mit Hilfe eines Thermoelements gemessen, das an der Wand des Becherglases befestigt wurde und nicht in den Strahlengang der Lampe hineinragen darf, um eine direkte Erwärmung durch Bestrahlung zu minimieren. Die Messung wird mit einem Minicomputer (LabPi) aufgezeichnet. Die Einstellung des Minicomputers wird für die SchülerInnen vorbereitet.

Nach der ersten Messung ist es sehr wichtig darauf zu achten, dass die Apparatur vollständig abkühlt. Genauso wichtig ist es, dass die Gefäße für die zweite Messung wieder in exakt dieselbe Position gebracht werden, da auch andere Faktoren Einfluss auf die Temperaturen der Gase haben, wie etwa der Abstand und Winkel zur Strahlungsquelle. Ein Vergleich von Luft und CO_2 ist jedoch nur aussagekräftig, wenn die Natur des Gases der einzige Unterschied zwischen den beiden Messungen ist.

Die Anwesenheit von CO₂ im Becherglas wird vor und nach der Messung durch Erlöschen eines eingetauchten Glimmspans nachgewiesen, um es für die SchülerInnen anschaulich zu machen.

Variante B: Modell für den Treibhauseffekt

In diesem Versuch soll der Treibhauseffekt, der auf der Erde wirksam ist, in Form eines Modells wiedergegeben werden. Dafür werden gebräuchliche Laborgeräte verwendet. Die SchülerInnen bestrahlen den Gasraum (≈ Atmosphäre) in einem Becherglas, das für die erste Messung mit Luft und für die zweite mit CO₂ gefüllt wird, von oben mit einer Lampe (≈ Sonnenlicht). Das Becherglas ist nach unten durch einen Korkring isoliert und wird oben mit einer Frischhaltefolie und mit einer Petrischale abgedeckt. Die Petrischale enthält Wasser, was die Wolkenschicht in der Natur präsentieren soll. Durch diesen Aufbau kann verhindert werden, dass erwärmte Luft oder CO₂ aus dem Becherglas entweichen. Unten im Becherglas befindet sich eine schwarze Pappe, die die Erdoberfläche darstellen soll.

Die Vorgehensweise bei der Messung entspricht der in Variante A. Auch hier müssen die Positionen der Geräte beim Messen genau eingehalten werden!

Beobachtungen

Die Darstellung der Messergebnisse erfolgt automatisch durch den Minicomputer. Für jede Messung werden eine Tabelle mit den Messdaten und eine Kurve angezeigt, bei der die Temperatur gegen die Zeit aufgetragen ist. Die Abb. 4 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer Messung auf dem Bildschirm des LabPis. Diese Daten können auf dem Minicomputer oder auf einem Stick gespeichert werden, wodurch sie portabel werden.

Bei beiden Varianten des Versuchs können die SchülerInnen beobachten, dass CO₂ sich bei gleicher Einstrahlung stärker als Luft erwärmt. Der Unterschied im Temperaturanstieg zwischen CO₂ und Luft ist bei der direkten Bestrahlung der Gase mit IR-Licht (Variante A) größer als im Modell (Variante B) (etwa 2 – 5 °C in Variante A gegenüber 1 – 2 °C in Variante B).

Die Temperatur/Zeit-Kurven auf dem Minicomputer lassen außerdem erkennen, dass der Temperaturanstieg im Verlauf der Messungen, also mit steigender Temperatur, abflacht.

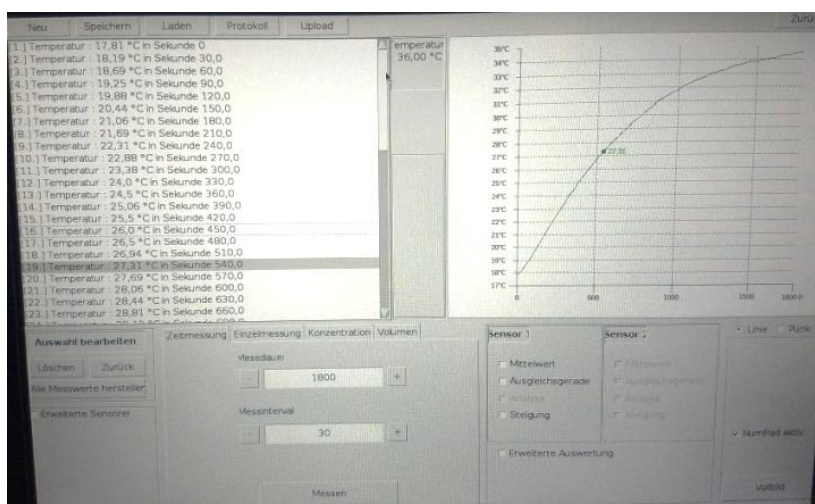


Abb. 4: Anzeige auf dem Minicomputer (LabPi)

Deutung

In beiden Versuchen lässt sich erkennen, dass es sich bei CO_2 um ein Treibhausgas handelt, das Wärmestrahlung in einem Reservoir „halten“ und sich dadurch erwärmen kann. Dieser Effekt fällt größer aus, wenn das Gas intensiv durch eine IR-Lampe bestrahlt wird (Variante A). In der Modell-Variante (B) wirkt lediglich die Wärmestrahlung, die in Abhängigkeit von der durch die „Sonneneinstrahlung“ erzielten Temperatur von der schwarzen Pappe abgegeben wird, auf das Gas ein.

Die SchülerInnen erkennen im Diagramm, dass der Temperaturanstieg mit der Zeit, also mit steigender Temperatur des Systems abnimmt. Je höher die Gastemperatur im Becherglas, desto größer ist auch die konkurrierende Wärmeabgabe an die kältere Umgebung (keine Isolierung), so dass eine weitere Erwärmung immer schwieriger wird. In Variante B wird auch das Wasser erwärmt. Dieser Zustand einer maximal erreichbaren Temperatur ist vom Aufbau abhängig und stellt sich bei der direkten Bestrahlung mit IR-Licht schon nach etwa 1200 s (20 min) ein, da die Bestrahlung mit absorbierbarer Strahlung effizienter ist.

Im Hinterkopf sollte man behalten, dass beide Varianten die Gase, die ja die offene Atmosphäre repräsentieren sollen, in ein Becherglas einsperren müssen, um den Versuch im Labormaßstab möglich zu machen, und dass die Effekte stark forciert werden, um sie in kurzer Zeit beobachten zu können. Daher ist es so wichtig, dass diese Randbedingungen für Luft und CO_2 exakt gleich gehalten werden.

Die Daten, die der Minicomputer liefert, können anschließend im Rahmen des Schulunterrichts mit älteren SchülerInnen in Excel überführt und verschiedene Diagramme für Luft und CO_2 erstellt werden. So ist im Diagramm, das beide Kurven enthält, sofort ersichtlich, dass das CO_2 eine höhere Temperatur aufweist als Luft (Abb. 5, nach Variante B).

Mit Hilfe des Excel-Programms kann man für den quasilinearen Teil im Anfangsbereich der Kurven Geradengleichungen aufstellen und hier die Steigungen vergleichen (höher für CO_2).

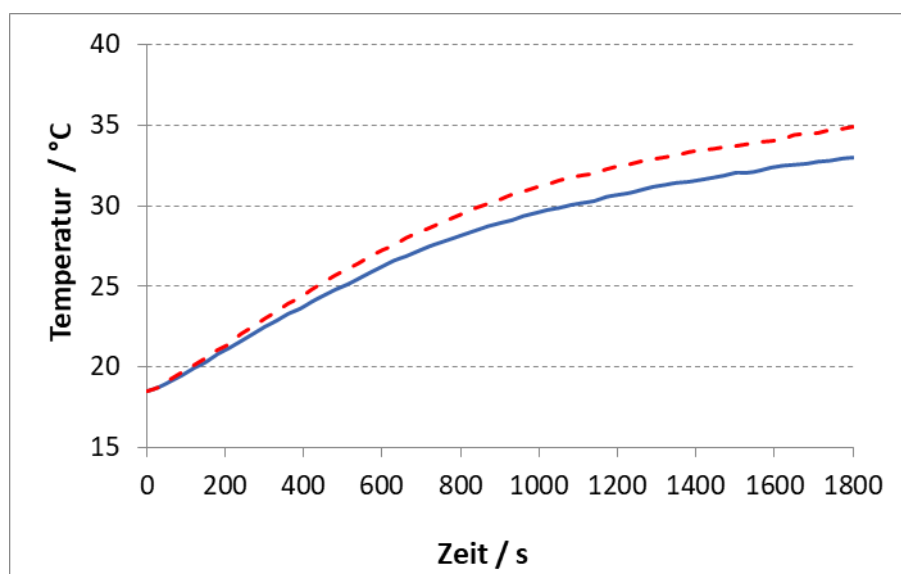


Abb. 5: Temperaturmessung nach Variante B von Luft (—) und CO_2 (---) bei Bestrahlung mit weißem Licht (Philips PAR38 EC, 120W)

Die SchülerInnen lernen in diesem Versuch den Treibhauseffekt kennen und sollen für die Zusammenhänge, die zwischen Änderungen in unserem Klima und Luftschadstoffen bestehen, sensibilisiert werden. Daher sollte diese experimentelle Einheit im Schulunterricht mit einer Diskussion über Klimaaspekte verbunden werden. Da die Zusammenhänge sehr komplex sind und neben der Entstehung von CO₂ auch die Bindung von CO₂ in sogenannten CO₂-Senken eine Rolle spielt (z. B. Ozeane und Wälder), sind langfristige Vorhersagen schwer zu treffen. Allerdings führt die bereits beobachtbare Erwärmung der mittleren Oberflächentemperatur der Ozeane zu einer Verringerung der Aufnahmekapazität dieser wichtigen CO₂-Senke (s. Versuche „Ozeanversauerung und Erderwärmung – Einfluss der Klimaerwärmung auf den pH-Wert der Ozeane“), was den Treibhauseffekt weiter befördert. Ebenso wirkt sich die fortschreitende Waldrodung in dieser Richtung aus. Aufforsten ist also eine wichtige Gegenmaßnahme.

Wenn auch experimentell schwieriger umsetzbar, sollten unbedingt auch andere Treibhausgase wie z. B. das Methan, das unter anderem aus Sümpfen, aus der Landwirtschaft und aus der Erdgasgewinnung in die Atmosphäre gelangt, aber auch in den vom Auftauen bedrohten Permafrostböden gespeichert ist, neben dem CO₂ betrachtet werden.

Quellen

1. „Treibhauseffekt und Klimawandel“ (<https://medienportal.siemens-stiftung.org/de/treibhauseffekt-und-klimawandel-100589>), © Siemens Stiftung 2017, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international (Lizenztext siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>) (Zugriff am 11.11.2020)
2. <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt> (Zugriff 17.05.2020)
3. https://www.lncu.de/files/coursemanager/contenttext/1151/tiny/Material_Klimawandel_Basiswissen_Teil_1.pdf (Zugriff am 10.11.2020)
4. Schönwiese C.D. (2008): Klimatologie, 3. Aufl. Stuttgart, Ulmer Verlag.
5. <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase> (Zugriff am 05.06.22020)
6. https://www.chids.de/dachs/expvortr/655tLuftschadstoffe_Schmidt.pdf (Zugriff am 10.11.2020)
7. https://de.wikipedia.org/wiki/Fluorchlorkohlenwasserstoffe#Geschichte_und_Verwendung (Zugriff am 17.11.2020)
8. Osterath B., Nachrichten aus der Chemie, 68 (2020) 34-37
9. <https://umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphärische-treibhausgas-konzentrationen> (Zugriff am 07.11.2020)
10. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen> (Zugriff am 10.11.2020)
11. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-groß-ist-der-beobachtete-weltweite> (Zugriff am 09.11.2020)
12. <https://www.de-ipcc.de>, Sonderbericht über 1,5°C globale Erwärmung (SR1.5) (Zugriff am 06.10.2020)
13. Robert A. Rohde (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_Transmission_de.png), „Atmospheric Transmission de“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
14. <https://wiki.polymerservice-merseburg.de/index.php/Barriere-Kunststoffe> (Zugriff am 14.11.2020)