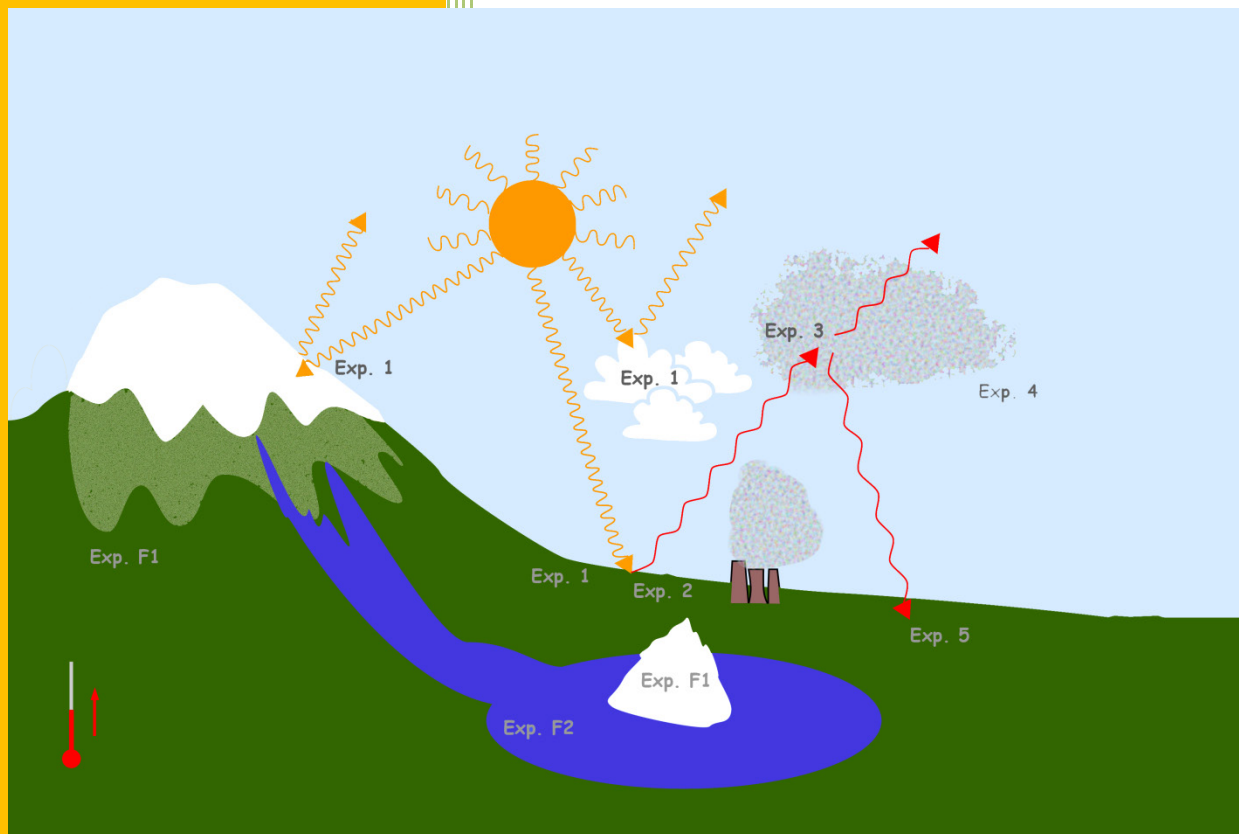


## Versuche zum Treibhauseffekt



## Inhalt

---

Erläuterungen zu den Versuchen .....	2
Reflexionsvermögen des Erdbodens .....	3
Klimamodell.....	4
Reemission der Wärmestrahlung.....	5
Absorption der reemittierten Wärmestrahlung an der Erdoberfläche.....	6
Zusammenhang von Eisschmelze und Wasserpegel .....	7
Thermische Ausdehnung von Wasser .....	8
Treibhausgas mit der Wärmebildkamera untersuchen .....	9

## Erläuterungen zu den Versuchen

---

Auf jeden Blatt ist oben links in einem Kästchen das Thema angegeben. Die Versuche teilen sich in folgende Themenbereiche auf:

Wärmestrahlung
----------------

Wärmeausdehnung
-----------------

## Reflexionsvermögen des Erdbodens

### Fragestellung

Reflektiert die schwarze oder weiße Fläche mehr Strahlung?

### Material

- Einfülltrichter (fakultativ)
- Digitalthermometer
- Wärmebildkamera plus Zubehör
- Halogenstrahler (ca. 1000 W), Stativ
- Stoppuhr mit 60 s-Einteilung
- 2 Erlenmeyerkolben (ein weißer, ein schwarzer)
- Wasser
- Laborboy
- Lineal

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar/>

### Durchführung

Laborboy auf die richtige Kamerahöhe einstellen, so dass der schwarze und der weiße Erlenmeyerkolben in gleicher Entfernung von 50 cm zur Lampe stehen. Kaltes Leitungswasser in die beiden Kolbengefäße einfüllen. Messung der Anfangstemperatur mit dem Temperaturmessfühler. Nach Einschalten der Lampe jede Minute in beiden Kolbengefäßen die Temperatur an der gleichen Stelle messen und notieren. Nach 5 Minuten die letzte Messung durchführen.

Messwerte in Tabelle notieren. Die Messwerte grafisch darstellen.

Nachbereitung: Die Erlenmeyerkolben entleeren.

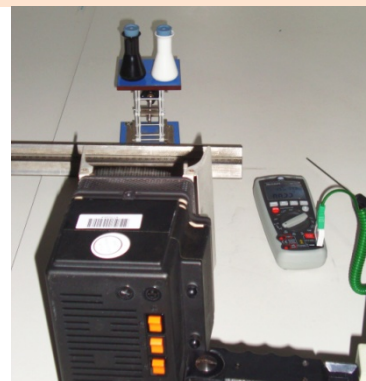


Abb.: Erlenmeyerkolben mit Halogenstrahler

### Ergebnisse und Auswertung

Kurzwelligere Strahlung des sichtbaren Lichtes wird von dem weißen Kolben reflektiert, vom schwarzen aber absorbiert und erscheint dem Betrachter deshalb dunkel. Die absorbierte Strahlung trägt zur Erwärmung des Kolbens bei, worauf dieser Wärmestrahlung emittiert. Daraus folgt eine erhöhte Temperatur im schwarzen Gefäß. Die emittierte Wärmestrahlung kann mit der Wärmekamera sichtbar gemacht werden.

Auf das Erdsystem übertragen bedeutet dies, dass dunkle Erdoberflächen stärker zur Erderwärmung beitragen als weiße (z. B. Schnee-/Eisflächen; Problematik des schmelzenden Eises).

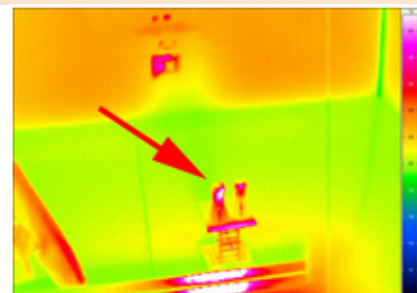


Abb.: Links der schwarze Erlenmeyerkolben

### Anmerkungen

Versuchsbetrachtung mit Absorption und Emission

Achtung: **Verbrennungsgefahr an der Lampe**

Emission + Reflexion + Transmission = 1; Absorption = Emission

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min	InfraTec	Reflexionsvermögen des Erdbodens, Existenz von unsichtbarer Strahlung, Vergleich von schwarzen und weißen Körpern
Durchführung: 10 min	Flir	
Auswertung: 5 min		

## Klimamodell

### Fragestellung

Kann die Atmosphäre (z. B. das Gas Kohlenstoffdioxid) Wärmestrahlung absorbieren und damit die Abstrahlung in den Weltraum verhindern?

### Material

- Modell Treibhauseffekt
- CO<sub>2</sub>-Spender mit CO<sub>2</sub>-Flasche
- Netzteil

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-erlin.de/inventar/>

### Durchführung

Gerät einschalten und warten bis sich der Globus erwärmt hat (ca. 5 min). Acrylbehälter von unten mit einem Stopfen verschließen. Das Zeigerinstrument mit Hilfe der Thermosäule so einstellen, dass der Zeiger sich mittig einpendelt (Stellknopf auf der Rückseite für Korrektur).

Um den Wärmefluss zwischen Atmosphäre (Eisenring) und Weltraum (Zeigerinstrument/Thermosäule) zu Testzwecken zu unterbrechen, hält man ein Blatt Papier vor das Messinstrument. Anschließend CO<sub>2</sub> langsam in den transparenten Behälter füllen und Instrument beobachten und Ergebnisse notieren. Stopfen aus dem transparenten Behälter entfernen, damit das CO<sub>2</sub> entweichen kann. Messinstrument beobachten.

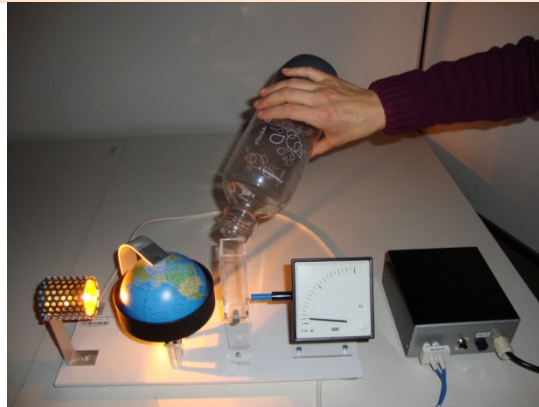


Abb.: Klimamodell; Einfüllen von CO<sub>2</sub>

### Ergebnisse und Auswertung

Das sichtbare Licht der Lampe wird von dem schwarzen Metallgürtel (Atmosphäre) am Globus absorbiert und gibt die Energie durch Emission als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Die abgegebene Strahlung wird von der Thermosäule erfasst. Diese stellt eine Messstation im Weltraum dar. Nach Einfüllen des CO<sub>2</sub> in den Acrylglasbehälter wirkt das Gas wie eine Barriere zwischen Globus und Weltraum (Messgerät): Der Zeiger zeigt am Messgerät sofort einen sehr viel kleineren Wert an. Das bedeutet, dass die Strahlungsenergie (Wärme) der Erde nicht in den Weltraum abgegeben werden kann und somit zur Erderwärmung beiträgt.

### Anmerkungen

Den Stopfen fest in den transparenten Behälter drücken.

Zeit	Kamera	Zusatzinfos
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min		Aufbau vorher warmlaufen lassen (20 min)

## Reemission der Wärmestrahlung

### Fragestellung

Kann von einer Acrylglasplatte absorbierte Wärmestrahlung wieder reemittiert werden?

### Material

- Acrylglasplatte ( $d = 1 \text{ cm}$ ) und Halterung
  - Stoppuhr mit 60 s-Einteilung
  - Stativmaterial
  - Digitales Oberflächenthermometer
  - Lampenfassung mit Schalter
  - Keramik Infrarotlampe (250 W)
  - Lineal
- Siehe: <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar/>

### Durchführung

Die Acrylplatte mit Stativmaterial fixieren und die Infrarotlampe anschalten. Anschließend warten, bis die abgestrahlte Wärme mit der davorgehaltenen Hand spürbar wird (**die Lampe selbst nicht anfassen!!!**). Danach die Lampe in einem Abstand von 10 cm vor die Acrylglasplatte stellen. Stoppuhr starten. Welche Wärmeempfindung stellt sich beim Beobachter auf der anderen Seite ein (mit der Hand fühlen)? Nach einer zweiminütigen Bestrahlung der Platte den Strahler entfernen und auf der Oberfläche beider Plattenseiten mit dem Temperaturfühler die Temperatur in der Plattenmitte messen. Die Werte notieren. Die reemittierte Strahlung kann auf beiden Seiten mit der Hand erspürt werden, ohne die Platte zu berühren.



Abb.: Acrylglasplatte vor der Infrarotlampe

Nachbereitung: Die Platte zur Abkühlung flach auf den Tisch legen.

### Ergebnisse und Auswertung

Die Acrylglasplatte simuliert die Atmosphäre der Erde, die die von der Erde kommende Infrarotstrahlung nicht passieren lässt. Die Platte wird durch Absorption von Strahlung aufgeheizt. Dass man die Wärme spürt (durch die Platte hindurch allerdings weniger) rührt von der Reemission von Strahlung her; auf der bestrahlten Seite ist sie stärker als auf der der Strahlungsquelle abgewandten Seite, da die Transmission der Strahlung durch die Platte gering ist). Je mehr Treibhausgase die Atmosphäre enthält, desto mehr Wärme kann die Atmosphäre absorbieren. Diese Wärme wird somit schlechter an den Weltraum abgeführt und gelangt (teilweise) zur Erde zurück.

In diesem Zusammenhang ist Folgendes interessant: Kurzwellige/sichtbare Strahlung kann die Platte passieren (deshalb kann man durch die Platte hindurchschauen), langwellige Infrarotstrahlung dagegen nicht. Die kurzwelligere Strahlung des Sonnenlichts passiert die Atmosphäre, wird an der Erdoberfläche absorbiert und als langwellige Infrarotstrahlung wieder abgegeben (Experiment 1: Glashauseffekt). In diesem Versuch wird nur mit der langwelligen Strahlung experimentiert.

### Anmerkungen

Achtung: Die Wendelinfrarotlampe sendet kein sichtbares Licht aus. **Verbrennungsgefahr!**

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min	Optional: Wärmebildkamera	Gewächshaus
Durchführung: 10 min		
Auswertung: 5 min		

## Absorption der reemittierten Wärmestrahlung an der Erdoberfläche

### Fragestellung

Wird die reemittierte Wärmestrahlung von der Erdoberfläche absorbiert? Gibt es Unterschiede zwischen schwarzen und weißen Flächen?

### Material

- Schwarzes und weißes T-Shirt (Baumwolle)
- Keramik-Infrarotstrahler (250 W), Stativ
- 8 Wäscheklammern
- Lineal
- 2 Klebepunkte
- Wärmebildkamera
- Optische Bank, 2 Reiter (oder Standfüße)
- Projektionsschirm
- Föhn (optional für Gruppen)
- Stoppuhr, Thermometer

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar/>

### Durchführung

Beide T-Shirts werden mit Wäscheklammern nebeneinander auf einen Projektionsschirm gespannt. Zwei Messpunkte (Klebepunkte) werden symmetrisch zum jeweils anderen. T-Shirt aufgeklebt. Der Abstand zwischen den T-Shirts und der Infrarotlampe beträgt 30 cm. Die T-Shirts werden etwa 6 Minuten lang bestrahlt und die Messwerte auf den T-Shirts mit der Wärmebildkamera oder dem Thermometer bestimmt. Ein Vorheizen ist nicht notwendig. Der Vorgang wird mit der Kamera beobachtet. Beim berührungslosen Thermometer den Emissionsfaktor ( $e = 0,95$ ) einstellen.



Abb.: Aufbau der T-Shirts und des Keramik Infrarotstrahlers

Nachbereitung: Den Projektionsschirm samt T-Shirts aus der Halterung nehmen und zum Abkühlen flach auf den Tisch legen.

### Ergebnisse und Auswertung

Nach 6 Minuten ist die Temperatur auf beiden T-Shirts noch immer in etwa gleich, in unserem Experiment ca. 40°C. Ursache ist die Bestrahlung ausschließlich mit Wärmestrahlung, die von beiden T-Shirts gleich gut absorbiert wird (anders als im Experiment 1, in dem mit sichtbarem Licht bestrahlt wurde).

Kurzwelligere Strahlung des sichtbaren Lichts wird von dem schwarzen T-Shirt stärker absorbiert. Die absorbierte Strahlung wird in Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) umgewandelt und reemittiert.

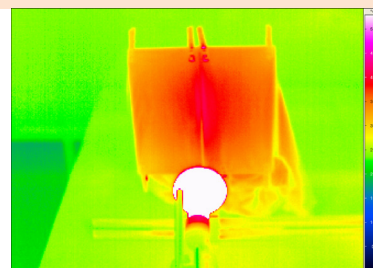


Abb.: Aufgewärmte T-Shirts mit einer Wärmebildkamera aufgenommen, rechts das schwarze T-Shirt

### Anmerkungen

Zum Schluss die T-Shirts zum Abkühlen an eine nicht erwärmte Stelle des Tisches legen. **Verbrennungsgefahr an der Lampe!**

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min	InfraTec	Sommer-/Winterkleidung
Durchführung: 10 min	Flir	
Auswertung: 5 min		

## Zusammenhang von Eisschmelze und Wasserpegel

### Fragestellung

Steigt der Meeresspiegel durch schmelzendes Inlandeis oder schwimmende Eisberge?

### Material

- Föhn
- Folienstifte
- Papiertücher
- 2 Bechergläser (250 ml)
- Aluminiumzylinder
- große Eiswürfel (Isolierbox)
- Wasser

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-rlin.de/inventar/>

### Durchführung

Einen Aluminiumzylinder vorsichtig in ein Becherglas stellen und das Gefäß mit ca. 150 ml Wasser füllen. Dabei den Zylinder nicht mit Wasser bedecken. Auf den Zylinder einen großen Eiswürfel legen. Der Flüssigkeitspegel wird mit einem Stift markiert.

In ein zweites, gleich geformtes und gleich großes Gefäß ebenfalls 150 ml Wasser einfüllen und einen Eiswürfel hinzugeben. Sofort den Pegelstand markieren. Um den Schmelzvorgang auf dem Zylinder zu beschleunigen, wird mit einem Föhn das Eis zum Schmelzen gebracht.



Abb.: Eiswürfel im Wasser und auf dem Zylinder

### Ergebnisse und Auswertung

Das schwimmende Eis trägt nicht zur Erhöhung des Wasserspiegels bei (Verdrängungsprozesse). Anders bei dem Eiswürfel auf dem Zylinder – Letzterer soll die Landmasse darstellen. Hier fließt das Schmelzwasser zu dem übrigen Wasser und erhöht den Wasser- bzw. den Meeresspiegel.

Es wird eine Eisschmelze von Meereis (z. B. Arktis) und Gletschern bzw. Inlandeis (Gebirge, Antarktis, ...) simuliert.



Abb.: Beschleunigung des Schmelzvorganges für das Eis auf dem Zylinder mit dem Föhn

### Anmerkungen

**Achtung: Verbrennungs- und Bruchgefahr!**

Zum Schluss des Versuchs die Gefäße leeren.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min		Meeresspiegelanstieg/ Überflutung von tief gelegenen Regionen

## Thermische Ausdehnung von Wasser

### Fragestellung

Steigt der Meeresspiegel durch sich erwärmendes Wasser?

### Material

- Rundkolbengefäß (500 ml) mit Stopfen
- Glasröhrchen ( $d = 6-7$  mm)
- Papierrolle
- Becherglas mit Wasser
- Heizplatte, regelbar (Inv. 02026)
- Filzstift

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar/>

### Durchführung

Kolbengefäß vollständig mit kaltem Leitungswasser füllen. Mit einem Stopfen, durch den ein Glasröhrchen führt, fest verschließen. In dem Röhrchen sollte sich keine Luft mehr befinden und der Wasserstand sollte oberhalb des Stopfens liegen, jedoch nicht höher als im mittleren Bereich des Röhrchens. Den Wasserstand mit einem Stift markieren. Heizung auf  $50^{\circ}\text{C}$  einstellen und 5 Minuten beobachten.

### Ergebnisse und Auswertung

Mit der Zunahme der Wasser-temperatur nimmt auch das Volumen des Wassers zu. Folglich steigt auch der Wasserstand im Glasröhrchen um einige mm an (ca. 5-10 mm). Wird das Wasser wieder abgekühlt, ist der Pegelstand wieder der ursprüngliche.

Die thermische Ausdehnung des Wassers ist der Prozess, der die größte Auswirkung auf den Meeresspiegelanstieg hat (IPCC, 2007).



Abb.: Wasserstand im Röhrchen erhöht sich.

### Anmerkungen

Sitzt der Stopfen nicht fest genug, kann er sich lockern und den Pegelstand des Wassers verändern. Dadurch wird die Messung fehlerhaft beeinflusst. Die Kontrolle erfolgt über die Abkühlphase. Der Pegelstand erreicht bei der Ausgangstemperatur des Wassers wieder die angebrachte Markierung. (Die maximale Dichte des Wassers tritt bei  $4^{\circ}\text{C}$  auf.)

Zum Schluss des Versuchs die Gefäße leeren.

**Verbrennungsgefahr!**

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		Meeresspiegelanstieg durch thermische Ausdehnung des Wassers



## Treibhausgas mit der Wärmebildkamera untersuchen

### Fragestellung

CO<sub>2</sub> oder Tetrafluorethan. Welches Gas ist schädlicher für die Umwelt und warum?

### Material

- Wärmebildkamera
- Küvette transparent
- Frischhaltefolie
- Temperaturquelle, (Peltier-Referenz)
- DC Netzteil, regelbar, min 10V/2,5A (u.a. Inv. 06003)
- Kältespray (Tetrafluorethan)
- Temperaturmessgerät
- Luftfeuchtigkeitsinstrument

Siehe: <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/inventar/>

### Durchführung

Folgende Schritte für die Gasanalyse durchführen:

- Alle Regler am Netzteil auf Null stellen.
- $T > 70^{\circ}\text{C}$  (Temperaturquelle)  
Bei  $86,5^{\circ}\text{C}$ :  $U=3,8\text{V}$ ,  $I=1,95\text{A}$  einstellen.
- Emissionsgrad der Temperaturquelle auf  $\epsilon=0,95$  (Emissionsklebeband) einstellen
- Umgebungs- und Messpfadtemperatur, Luftfeuchtigkeit, Entfernung zum Messobjekt eingeben und Messpunkt in der Kamera setzen.
- Direkt die Temperatur der Quelle messen, notieren
- Transmissionsgrad zweier Frischhaltefolien ( $\tau=0,78$ ) eingeben und Küvette in den Messpfad einfügen.
- Einfüllen des Klimagases Tetrafluorethan (Kältespray). Mit Stopfen verschließen.

- Zur Temperaturangleichung Küvette mit Fön auf Raumtemperatur erwärmen.
- Differenztemperatur zwischen Küvetten Eingang und Ausgang ermitteln.
- Stopfen oben und unten entfernen.
- Mit Fön (kalt) die Küvette zum Entfernen des Gases durchblasen.
- Erneute Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera.



Abb.: Messaufbau Thermokamera mit Küvette und Temperaturquelle.

### Ergebnisse und Auswertung

Allg.: Tetrafluorethan im Handel unter R-134a ist ein Fluorkohlenwasserstoff ohne Ozonschädigung, wirkt aber als Klimagas ca. 1300 mal stärker gegenüber CO<sub>2</sub>.

Versuch: Netzteil mit Peltier-Element (T) 30 min

vorher einschalten, stromgesteuert. D.h. das Netzteil ist in der Strombegrenzung. Emissionsgrad der Temperaturquelle  $\epsilon=0,95$  (Klebeband). Transmissionsgrad zweier Frischhaltefolien der Küvette ( $\tau=0,78$ ).

### Anmerkungen

**Verbrennungsgefahr! Erfrierungsgefahr durch Gastemperatur  $-55^{\circ}\text{C}$ !**

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 10 min	InfraTec	Klimaveränderung, Treibhauseffekt
Durchführung: 30 min	Flir	
Auswertung: 5 min		