

# Der kleine praktische Einstieg in die infrarote Welt

Cecilia Scorza, Olaf Fischer

Es ist soweit – die fliegende Sternwarte SOFIA hat den ersten Blick in das infrarote Weltall gewagt und war erfolgreich. Um SOFIA's Auftrag besser zu verstehen, wollen wir einen ersten Blick in die infrarote Welt auf der Erde werfen und haben dazu **5 Arbeitsblätter** vorbereitet.

Die Forderung an die Bildstabilität, dass Teleskop dauerhaft auf eine im Abstand von ca. 5,9 km befindliche 1-Euro-Münze (Durchmesser ca. 2,3 cm) auszurichten, wurde voll erfüllt. Dazu war u. a. ein Werkstoff wichtig, der im **1. Arbeitsblatt** thematisiert wird. Erste Aufnahmen von Jupiter und der Galaxie M 82 zeigen - natürlich nur mit „Ersatzfarben“ - ein neues Gesicht dieser Objekte ([siehe SuW 8/2010, S. 21](#)). Das **2. und 3. Arbeitsblatt** geht auf das nahe Infrarot (NIR, 0,8 – 5 µm) ein, welches im Falle der blau gefärbten Anteile des Jupiterbildes (aufgenommen bei 5,4 µm) vor allem auf reflektiertes NIR-Licht der Sonne zurückgeht. Im mittleren Infrarot (MIR, 5 - 30 µm) sehen wir schon das Eigenleuchten der thermisch (für das MIR: 600 – 150 K) strahlenden Körper, welches uns Information über ihre Temperatur liefert (**Arbeitsblatt 4**). Doch im MIR ändert sich auch die Durchsicht, und wir können warme „Herzen“ hinter kühlen Staubvorhängen von M82 beobachten. Mit dem besseren oder auch schlechteren Durchlassvermögen im MIR beschäftigt sich **Arbeitsblatt 5**. Die Info-Box auf den Arbeitsblättern dient der Vernetzung der Inhalte verschiedenen Fachdisziplinen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Sterne	<a href="#">Effektive Temperatur der Sterne (der Sonne)</a>
Physik	Mechanik, Optik, Thermodynamik	<a href="#">Elastischer und unelastischer Stoß</a> , <a href="#">Energiebetrachtungen</a> , Infrarotstrahlung, <a href="#">spektraler Reflexionsgrad</a> , <a href="#">Emissionsgrad</a> , <a href="#">Stefan-Boltzmann-Gesetz</a> , <a href="#">Transmission</a>
Fächer- verknüpfung	Astro-Bio, Astro-Info, Astro-Tech, Astro-Geo	<a href="#">Chlorophyll</a> , <a href="#">Fernbedienung</a> , <a href="#">Treibhauseffekt</a>
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	Kompetenzen: Lesen und Verstehen, Bilder auswerten, Beobachtungen, Messungen und Experimente durchführen, Berechnungen, physikalische Kenntnisse anwenden; Unterrichtsmittel: Arbeitsblatt, Experimentiermaterialien



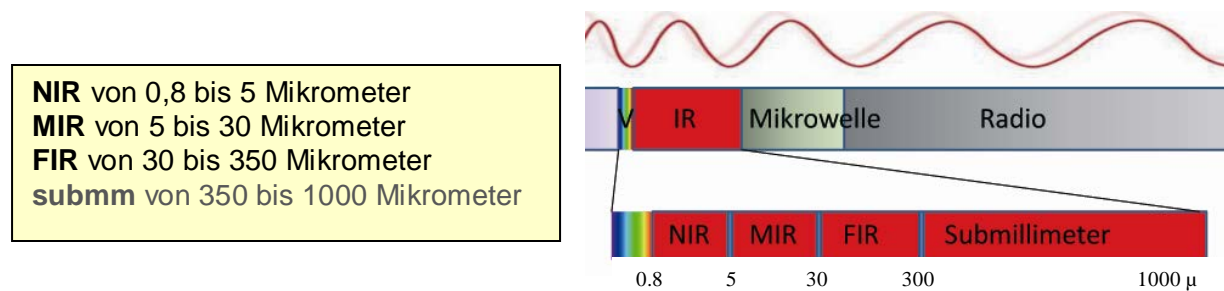
Abbildung 1: Viele alltägliche Geräte und Gegenstände liefern uns die Experimentierausstattung (nicht alles wird hier gezeigt). Als Infrarotstrahler fungieren die Fernbedienung, der NIR-Scheinwerfer (erhältlich per Internethandel für ca. 20 EURO), die Infrarotlampe, die Glühlampe und die Kerze (nur im Beisein von Erwachsenen verwenden!). Als Sensoren dienen die Digitalkamera (auch im Handy), die Webcam und das Strahlungsthermometer. Die Bedeutung der beiden Gummikugeln (erhältlich beim Deutschen SOFIA-Institut) wird aus dem ersten Arbeitsblatt klar.

## Das Infrarote (IR) als Teil des elektromagnetischen Spektrums

Der Infrarotbereich schließt sich an das rote Ende des sichtbaren Lichtspektrums an. Quelle der Infrarotstrahlung sind Körper mit einer Temperatur zwischen 2000 K (1700° C) und 10 K (-263° C), weshalb alle Objekte, die wir in unserer Umgebung kennen im Infrarotbereich strahlen. Wir Menschen strahlen bei einer Körpertemperatur von 37° C die meiste Strahlung bei einer Wellenlänge von ungefähr 10 Mikrometer ab. Zu den kältesten Objekten überhaupt, mit einer Temperatur zwischen 20 und 50 K, zählen die Staubwolken, die in unserer Galaxis zu finden sind (wie der Pferdekopfnebel im Sternbild Orion, rechts).

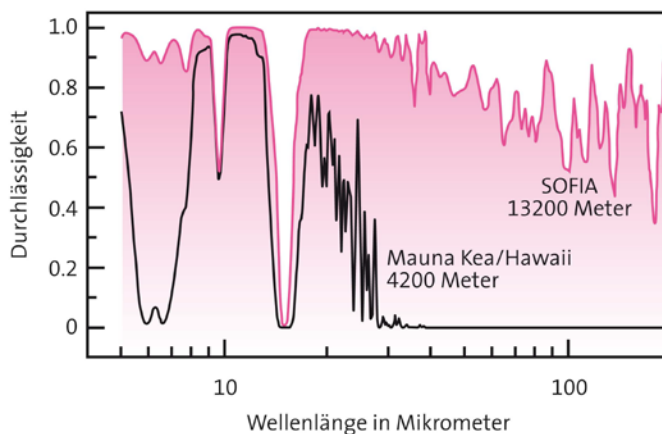


Der Spektralbereich der Infrarotstrahlung wird in drei Unterbereiche aufgeteilt: Nahes (NIR), Mittleres (MIR) und Ferne (FIR) Infrarot. Der Submillimeterbereich (submm) ist das Übergangsgebiet zur Radiostrahlung.



Häufig wird die Infrarotstrahlung als Synonym für die Wärmestrahlung verstanden. Jedoch ist die Wärmestrahlung **nur ein Teil** des Infrarotbereichs, sie entspricht in etwa dem MIR-Bereich und ist damit die Strahlung, die durch die Atom- und Molekülbewegung erzeugt wird. Kurzwelligere Strahlung im NIR, im Visuellen und im UV wird durch Elektronenübergänge erzeugt.

Die Unterteilung in drei IR-Bereiche geht auf die Empfindlichkeitsgrenzen der verschiedenen Infrarotdetektoren und die Durchlässigkeitsfenster der Erdatmosphäre zurück. Vor allem der Wasserdampf in der Luft absorbiert die Infrarotstrahlung. Im MIR ist noch das Kohlestoffdioxid als starker Absorber zu nennen.

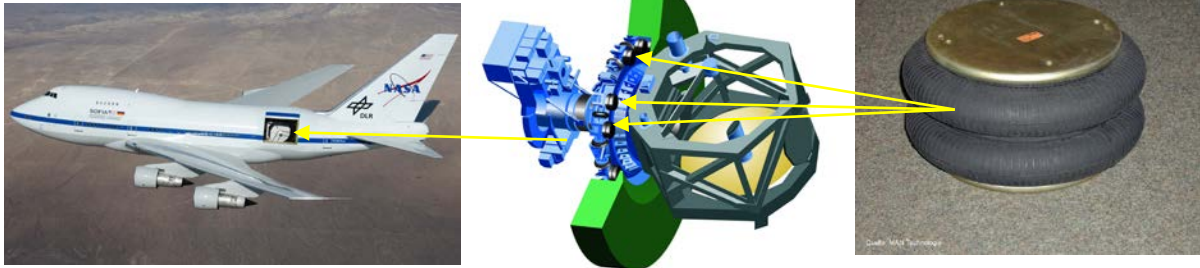


Durchlässigkeit der Atmosphäre auf Mauna Kea (Hawaii, schwarze Linie) und in der Stratosphäre (rosafarbene Linie, Flughöhe von SOFIA). Das Ferne Infrarot (FIR, ab 30 Mikrometer) ist vom Boden aus nicht beobachtbar. Bild: MPAE, <https://www2.mps.mpg.de/projects/safia/great-cts/>

## AB 1: SOFIA's Vibrationen und was aus ihnen wird

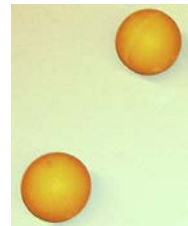
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Der Betrieb eines Fernrohrs in einem Flugzeug erfordert vielfältige Maßnahmen zur Stabilisierung der Teleskopausrichtung. Ein Element zur Dämpfung der Vibrationen, die von den Triebwerken und der Luftströmung bei geöffneter Luke ausgehen, stellt ein Luftfedersystem mit variabel aufblasbaren Gummirädern dar (siehe rechtes Bild). Dabei kommt ein selbstverlöschendes Elastomer (ein spezieller Gummi) zum Einsatz, der hier näher untersucht werden soll.



### Experiment

zur Demonstration der besonderen Eigenschaft des Elastomers soll ein Ball aus diesem Material mit einem aus normalem Gummi verglichen werden. Dazu lasse man beide Bälle aus gleicher Höhe auf einen glatten harten Untergrund fallen. Beschreibe deine Beobachtungen und verwende dabei auch den physikalischen Begriff ‚Stoß‘. Stelle auch eine **Energiebetrachtung** an.



### Aufgabe

Die Energie, die der Elastomer-Ball aus dem Gravitationsfeld erhält, wird beim Aufprall umgewandelt. Berechne die Temperatur, um die sich der unelastisch stoßende Gummiball ( $m=20$  g,  $c_{\text{Gummi}}=1,4$  kJ/(kg·K)) beim Aufprall aus 2 m Höhe erwärmt? Welche Annahme wird dabei gemacht?

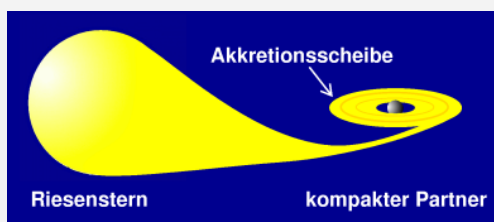
### Experiment

Beschreibe ein Experiment aus, bei dem einem Elastomer-Ball so viel mechanische Energie zugeführt wird, dass er merklich ( $>1$  Grad) erwärmt wird (im Vergleich zum normalen Gummi-Ball) führe es durch und dokumentiere die Ergebnisse.



### Info: Astronomie - Wohin mit der Gravitationsenergie?

Immer dann, wenn kosmische Objekte auf Grund der Eigengravitation oder der Gravitationswechselwirkung mit anderen Objekten kompakter werden, wird thermische Energie frei, die aus ihrem freien Fall oder bei sehr langsamer Schrumpfung direkt aus ihrer potentiellen Energie stammt. So erhöht sich die Temperatur des Protosterns bis zum Zünden des Wasserstoffs. Die Kerne vieler Planeten sind noch flüssig, u. a. weil beim Zusammenprall vieler Planetesimale diese stark erhitzt wurden. Die



[http://www.einstein-online.info/vertiefung/Akkretion@set\\_language=de.html](http://www.einstein-online.info/vertiefung/Akkretion@set_language=de.html)

kompakten Endprodukte der Sternentwicklung können Materie ansaugen und in Akkretionsscheiben sammeln, welche sich durch das Aufprallen von dazu kommender Materie aufheizen. Im Falle sehr exotischer Objekte sorgt die Umsetzung von Gravitations- in Strahlungsenergie sogar für die hellsten Quellen im Universum. Die Umsetzung der Masse in Energie funktioniert hierbei ca. 30-mal so effizient wie bei der Kernfusion.

**AB 2: Aussendung und Nachweis von NIR-Licht zu Hause:** ([←zurück zum Anfang](#))  
**Fernbedienung und Handy**

Fernbedienung und Handy sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Handy-Töne hören wir häufig. Doch unbemerkt geben einige Handys auch andere Signale ab – sie übertragen dabei Musik, Videos und Bilder im Infrarotbereich.

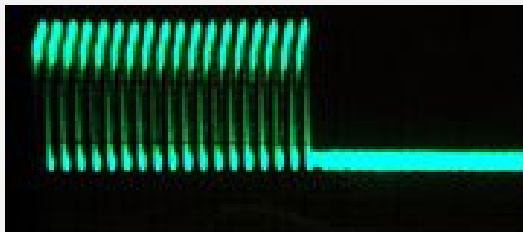
Mit Fernbedienungen steuern wir im Haushalt den Fernseher, die Stereoanlage oder vielleicht auch das Garagentor. Heutzutage funktionieren Fernbedienungen mit Infrarotsignalen.

Kann man das Infrarot-signal z. B. von einer Fernbedienung mit einer Handykamera sehen oder sogar fotografieren?

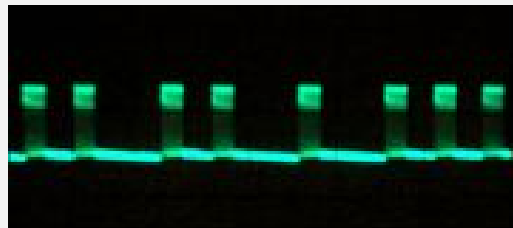


**Info: Technik und Informatik – die Signale der Infrarot-Fernbedienung**

Infrarot-Fernbedienungen senden IR-Lichtsignale mit einer Trägerfrequenz von z. B. 38 kHz aus (Bild oben links). Diese sonst kaum vorkommende Signalfrequenz ermöglicht Störsicherheit. Dem Trägersignal wird eine Pulsfolge aufmoduliert. Jeder Puls im Bild oben rechts hat eine Dauer von etwa 0,5 ms. Die Pausenlänge zwischen den Pulsen ermöglicht eine binäre Kodierung: Puls mit folgender gleichlanger Pause bedeutet Bit 1, Puls mit folgender doppelt so langer Pause bedeutet Bit 0. Jeder Tastendruck der Fernbedienung erzeugt eine bestimmte Bitfolge, die in Abständen solange ausgesendet wird, solange man drückt.



38 kHz-Trägersignal



→ Bitfolge durch Modulation des 38 kHz-Trägersignals (Ausschnitt)

©: Es wird Ebuss--commonswiki, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=663806>, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=663796>.

**Experiment**

Nimm eine Fernbedienung, drücke auf eine beliebige Taste und betrachte die Sendediode an deren Kopfende mit der Handykamera. Beschreibe, was du beobachten kannst?

**Aufgabe**

Im Infokasten rechts ist eine Bitfolge zu sehen, wie sie von einer IR-Fernbedienung bei Drücken der entsprechenden Taste ausgesendet wird. Auch wenn die Pausen zwischen den Impulsen ab und zu die doppelte Länge haben, so kann man trotzdem eine mittlere Frequenz für die gezeigte Impulsfolge angeben. Bestimme diese Frequenz, indem du die Impulse zählst und die entsprechende Zeitdauer nach den im Info-Kasten gemachten Angaben ermittelst. Wäre dieses Signal hörbar, wenn man es in ein Audio-Signal umwandeln würde?

### AB 3: Reflexion im NIR

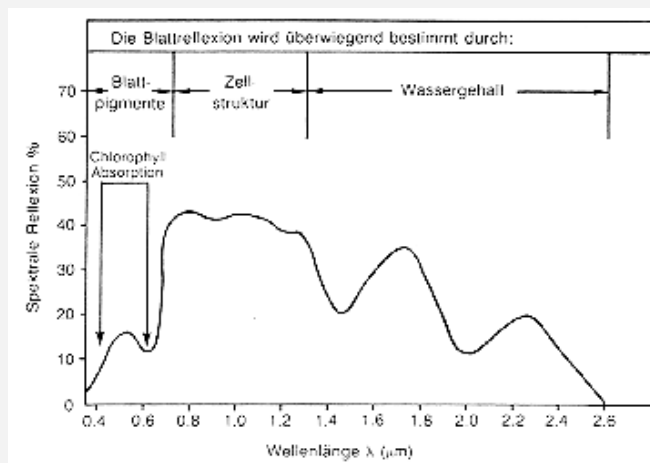
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Treffen Wellen auf eine Grenzfläche, so ändert sich ihr Ausbreitungsverhalten in Abhängigkeit von der Wellenlänge und vom Medium. Ein Teil der Energie der Welle dringt ins neue Medium ein, der verbleibende Teil „prallt ab“ – wird reflektiert. Das Verhältnis von reflektierter zu eingestrahelter Strahlungsenergie wird durch den Reflexionsgrad beschrieben.

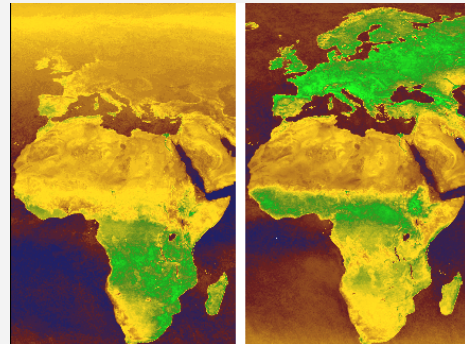
Die Intensität der Farben unserer Umwelt gibt uns einen ersten Hinweis, wie die **spektralen Reflexionsgrade** der Objekte sein könnten. Das Sonnenlicht, eine Mischung der Spektralfarben, wird von verschiedenen Objekten unterschiedlich (selektiv) reflektiert. Auch der infrarote Anteil des Sonnenlichts, der die Atmosphäre noch passieren kann, zählt dazu.

#### Info: Physik, Biologie und Geografie

Die Wellenlängenabhängigkeit von Reflexion, Transmission und Absorption bestimmt die Farbigkeit unseres Alltags. Im Bereich des fotografischen IR bekommt das gewohnte Bild neue Facetten. Blattgrün erscheint im nahen Infrarot strahlend weiß (siehe Bild rechts, Wood-Effekt), weil **Chlorophyll** im infraroten Bereich transparent ist und die Zellstruktur der Blätter sehr stark und breitbandig reflektiert. Entsprechend überraschend können auch andere Objekte im Infrarotlicht aussehen.



©: Von Suhaknoke - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40545183>.



©: Global Change Database, vol.1, National Geophysical Data Center, Colorado, 1992. <http://www.esa.int/images/061.gif>.

©: ESA (Eduspace).

Der Unterschied zwischen der Reflexion im Sichtbaren und im nahen Infrarotbereich kann zum Nachweis der Photosynthese und des Pflanzenwachstums dienen. Der Woodeffekt spielt so bei der **Fernerkundung des Planeten Erde** unter biologisch/ landschaftsökologischen Aspekten (Gewinnung von Vegetationskarten) eine wichtige Rolle. Das Bild rechts zeigt Vegetationskarten von Europa und Afrika im Januar und im Juli. Grün zeigt starkes und Braun fehlendes Wachstum an.

**Frage:** Welche Wirkung hat Chlorophyll auf sichtbares Licht?

#### Experiment



In einem stark abgedunkelten Raum werden verschiedene Testobjekte mit einem NIR-Scheinwerfer beleuchtet und mit Hilfe einer Webcam (die im NIR noch etwas empfindlich ist) auf dem Bildschirm zur Ansicht gebracht.

Betrachte, vergleiche und beschreibe die Erscheinungsbilder von Pflanzenblättern, EURO-Scheinen, Tankquittungen, dem nackten

Arm u. a. im Visuellen und im NIR. Notiere deine vergleichenden Beobachtungen und versuche eine erste Erklärung.



**AB 4: Temperaturmessung ohne Berührung – Strahlungsthermometer:**  
**Achtung Emissionsgrad!**

(→zurück zum Anfang)



Strahlungsthermometer für ca. 20 EURO: BASETech Mini 1

Die Temperatur eines Körpers lässt sich aus der Messung seiner ausgesandten Strahlung mittels eines Strahlungsthermometers unter Berücksichtigung des Emissionsgrades ermitteln.

Im irdischen Bereich ist es vor allem die **MIR-Strahlung**, die durch die Strahlungsthermometer gemessen wird. Das abgebildete Strahlungsthermometer eignet sich für einen Temperaturbereich von -33 bis 220° C. Es ist auf einen Emissionsgrad von 0,95 fest eingestellt.

**Etwas Physik**

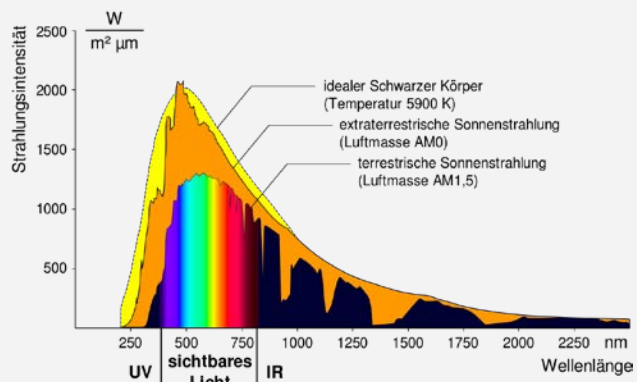
Jedes Element eines Körpers gibt entsprechend seiner Temperatur und Oberflächenbeschaffenheit eine gewisse Menge Strahlung ab. Im Idealfall, den wir den Schwarzen Körper nennen, hängt die pro Oberflächenelement und Zeiteinheit abgestrahlte Energiemenge (Strahlungsleistungsdichte  $S$ ) nur von der Temperatur  $T$  ab. Diesen Zusammenhang beschreibt das **Stefan-Boltzmann-Gesetz**:  $S = \sigma \cdot T^4$  ( $\sigma$  ist die Stefan-Boltzmann-Konstante,  $T$  in K).

Im Realfall werden der Abstrahlung durch die Eigenarten der jeweiligen Oberfläche „die Türen etwas versperrt“, ihr Emissionsgrad  $\epsilon$  ist entsprechend kleiner als eins (beim Schwarzen Körper) und das Stefan-Boltzmann-Gesetz lautet nun  $S = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ .

**Info: Astronomie – die Temperatur der Sonne**

Die Bestimmung der Temperatur der Sonne muss natürlich berührungslos erfolgen und beruht auf ihrer Strahlung. Die effektive Temperatur ist diejenige, die ein Schwarzer Körper (Emissionsgrad: 1) besitzt, der pro Flächeneinheit die gleiche Energie abstrahlt, wie sie von der Sonne gemessen wurde (Bildquelle: Wikimedia Commons).

Da der größte Teil der Abstrahlung aus der Photosphäre erfolgt, die für uns den sichtbaren Rand der Sonne darstellt (wir sehen die Sonnenscheibe), kann man auch von Oberflächentemperatur sprechen.

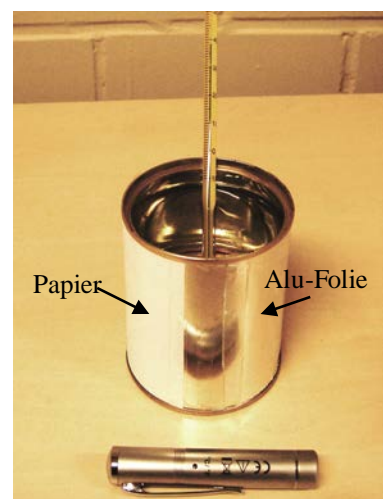


©: Von Der ursprünglich hochladende Benutzer war Degreen in der Wikipedia auf DeutschImproved Baba66 (opt Perhelion) on request;En. translation LocustaFr. translation Eric BajartNL translation BoH - Übertragen aus de.wikipedia nach Commons.; CC BY-SA 2.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10287551>.

**Experiment**

Man bestimme die Temperatur einer mit heißem Wasser gefüllten Blechdose mit Hilfe eines Strahlungsthermometers (Messabstand ca. 2 cm). Die Temperatur des Wassers und der Dose wird dabei auch von einem Kontaktthermometer angezeigt. Bei den Messungen soll die Strahlung verschiedener dreier verschiedener Oberflächen des Messobjekts (die alle die gleiche Temperatur haben) gemessen werden. Dokumentiere die Versuchsergebnisse in der Tabelle.

Oberfläche	Vom Strahlungsthermometer angezeigte Temperatur $T_M$ (°C)
Wasseroberfläche	
Dosenwand mit Alu-Folie (knittrig)	
Dosenwand mit Papier	



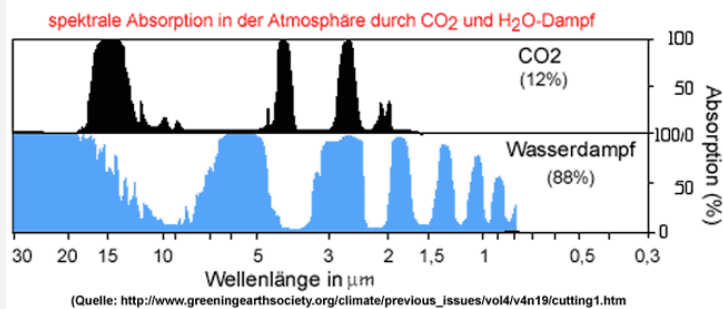
**AB 5: Transmission im MIR**

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Strahlung wird in einem Medium in Richtung seiner Ausbreitung durch Absorption und Streuung geschwächt. Den Grad der Durchlässigkeit des Mediums für Strahlung bezeichnet man als Transmission. Die Transmissionseigenschaften der Stoffe variieren stark mit der Wellenlänge der Strahlung.

**Info: Astronomie, Physik und Geografie – der Treibhauseffekt**

Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es auf der Erde bedeutend kälter. Vor allem im MIR (siehe Grafik: große Absorption bedeutend geringe Transmission) wird die Strahlung der im Visuellen auf im Mittel etwa 15°C erwärmten Erde nicht mehr ins All zurückgelassen. Die Treibhausgase (Wasser, Kohlenstoffdioxid, u. a.) wirken dabei wie Einbahnstraßen. Problematisch wird es jedoch, wenn der Treibhauseffekt künstlich verstärkt wird.



**Experiment**

Man untersuche die MIR-Strahlung verschiedener Objekte und vergleiche diese mit ihrer Strahlung im Visuellen. Welche Schlüsse lassen sich hinsichtlich der Transmission der beteiligten Stoffe ziehen? Zur Bestimmung der Intensität der MIR-Quellen dient ein Strahlungsthermometer. Der Messabstand ist dabei möglichst gering zu halten, da das Strahlungsthermometer die Strahlung aus einem Gebiet empfängt, welches mit zunehmendem Abstand immer größer wird. Dokumentiere die Versuchsergebnisse in der Tabelle und diskutiere diese.



Strahlungsquellen	MIR (Strahlungsthermometer)	visuell (Auge)
Glühlampe und Kerze		
IR-Lampe hinter schwarzem Müllsack		
IR-Lampe hinter Wasser		

## Ergebnisse

### AB 1:

#### Zum Experiment

Die Kugel aus normalem Gummi (für Flummis) wird vom Fußboden reflektiert (**elastischer Stoß**) und springt wieder in die Höhe. Nur ein geringer Teil der mechanischen Energie geht dabei verloren (Idealfall: Lageenergie  $\rightarrow$  kinetische Energie  $\rightarrow$  Lageenergie).

Die Kugel aus dem selbstverlöschenden Elastomer (spezieller Gummi zur Schwingungsdämpfung) springt fast nicht zurück (**unelastischer Stoß**). Ihre mechanische Energie wird in Wärme umgesetzt. Die Erwärmung von Dämpfungselementen aus Gummi sollte man bedenken, weil diese, falls die Beanspruchung zu groß wird, den Gummi zerstören kann (Idealfall: Lageenergie  $\rightarrow$  kinetische Energie  $\rightarrow$  thermische Energie).

#### Zur Aufgabe

Wie sich zeigt, spielt die Masse unter der Annahme, dass der ganze Ball die mechanische Energie beim Stoß in Wärme wandelt, für die Rechnung keine Rolle.

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot c_{\text{Gummi}} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{g \cdot h}{c_{\text{Gummi}}} = \frac{9,81 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{g} \cdot \text{K}}{\text{s}^2 \cdot 1,4 \text{ J}} = \frac{9,81 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{g} \cdot \text{K}}{\text{s}^2 \cdot 1400 \frac{\text{g} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}} = \underline{\underline{0,014 \text{ K}}}$$

#### Zum Experiment

Um eine messbare Temperaturerhöhung zu erzeugen, muss viel mechanische Energie übertragen werden. Dies erreicht man z. B. durch Walken (Durchkneten) der Gummibälle. Dazu legt die Bälle auf einen harten Fußboden, stellt sich mit je einem Schuh darauf und beginnt abwechselnd zu treten (so als ob man auf der Stelle läuft ohne die Füße zu heben). Die Temperatur der Bälle ist vor und nach dem Durchkneten zu messen. Der Versuch ist mehrmals zu wiederholen. Nach 30 bis 40-maligem Darauftreten steigt die Temperatur des Elastomerballs um ca. 1° C, während die Temperatur des Flummis nahezu unverändert bleibt.



Eine andere Möglichkeit (die jedoch mit Gefahren verbunden ist) bestünde darin, auf jeden der Bälle aus größerer Höhe eine große Masse fallen zu lassen. Unter der Annahme, dass der Ball die gesamte mechanische Energie beim Stoß in Wärme wandelt, erhält man für eine Masse von 5 kg, die aus 2 m Höhe auf den Ball fällt im Idealfall einen Temperaturanstieg von 3,5 Grad.

$$M \cdot g \cdot h = m \cdot c_{\text{Gummi}} \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{g \cdot h}{c_{\text{Gummi}}} \cdot \frac{M}{m}$$

$$\Delta T = \frac{9,81 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{K}}{\text{s}^2 \cdot 1,4 \text{ J}} \cdot \frac{5000 \text{ g}}{20 \text{ g}} = \frac{9,81 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{g} \cdot \text{K}}{\text{s}^2 \cdot 1400 \frac{\text{g} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}} \cdot 100 = \underline{\underline{3,5 \text{ K}}}$$



**AB 2:**

**Experiment**

Die Sendediode der IR-Fernbedienung kann mit der Handykamera sichtbar gemacht werden. Sie ist nicht dauerhaft sichtbar, sondern sie verlischt mehrmals pro Sekunde.

**Aufgabe**

Die dargestellte Zeitachse umfasst einen Zeitraum von etwa 9 ms. In dieser Zeitspanne werden 8 Pulse ausgesendet. In einer Sekunde werden also  $1000/9 \cdot 8 \approx 889$  Pulse ausgesendet. Dies entspricht gleichzeitig der Frequenz:  $f = 889$  Hz. Der junge Mensch hört Schallfrequenzen von 16 bis etwa 20.000 Hz. Die Frequenz der Pulsfolge der Fernbedienung entspricht etwa der des Kammertons a" (880 Hz), könnte also hörbar gemacht werden. Dieser Ton wird aber immer wieder unterbrochen, weil die Pulsfolge endet und stets erneut gesendet wird.

**AB 3:**

**Frage**

Blaues und rotes Licht wird durch das Chlorophyll weitgehend absorbiert und zur Photosynthese genutzt. Das grüne Licht wird reflektiert.

**Experiment**

- *Pflanzenblätter:* Die Blätter erscheinen im NIR deutlich heller als im Visuellen. Dies liegt an den Reflexionseigenschaften des zellulären Blattgefüges und der internen Wasserversorgung. Diese sind bei geschädigter oder absterbender Vegetation oft gestört und wirken sich so auf den Reflexionsgrad der Pflanze aus. Das Maß der Reflexion im NIR kann also als Vitalitätsfaktor gesehen werden.
- *Geldschein im NIR-Licht:* Ein Sicherheitsmerkmal von Geldscheinen ist ihr Reflexions-vermögen im NIR. Nur noch bestimmte Teile des Geldscheins sind dabei gut zu sehen. Am Beispiel des 5-Euro-Scheins sieht man nur die Hälfte des abgebildeten Brandenburger Tors, was ein Hinweis dafür ist, dass der Geldschein echt ist.
- *Quittungen im Thermodruck:* Druckfarbe erscheint im NIR „weiß“.
- *Nackter Arm:* NIR dringt tiefer in Haut ein (Gefahr!) und beleuchtet dadurch die Blutgefäße.

**AB 4:**

**Experiment**

Temperatur aller Oberflächen (Kontaktthermometer): 54° C

Oberfläche	Vom Strahlungsthermometer angezeigte Temperatur $T_M$ (° C)
Wasser	53
Alu-Folie (knittrig)	24
Papier	53

Während der Emissionsgrad von Wasser sehr nahe bei Eins liegt (ca. 0,95), hat Aluminium (als Metall) einen sehr geringen Emissionsgrad. Zur Temperaturbestimmung muss also der Emissionsgrad berücksichtigt werden.

**AB 5:**

**Experiment**

Strahlungsquellen	MIR (Strahlungsthermometer)	Visuell (Auge)
Glühlampe	90° C	Weißes Licht
Kerze	213° C (am Fuß der Flamme)	Gelblich-bläuliches Licht
Obwohl die Glühwendel der Glühlampe viel heißer ist (> 1000° C), messen wir nur 90° C (oder etwas mehr, wenn sich der Glaskolben weiter erhitzt hat). Während das Glas im Visuellen kein merkliches Hindernis ist, erscheint es im MIR beinahe undurchsichtig.		
IR-Lampe direkt	116° C	IR-Lampe sichtbar
IR-Lampe hinter schwarzem Müllsack	114° C	IR-Lampe beinahe unsichtbar
Während der schwarze Müllsack die Lampe ist fast vollständig verdeckt (für das Auge), geht jedoch die Wärmestrahlung fast ungehindert durch den Müllsack durch.		
IR-Lampe hinter einem leeren Behälter aus durchsichtiger Plastik	38° C	IR-Lampe beinahe ungehindert sichtbar
IR-Lampe hinter einem mit Wasser gefüllten Behälter aus durchsichtiger Plastik	33° C	IR-Lampe beinahe ungehindert sichtbar
Schon der Plastikbehälter absorbiert die Wärmestrahlung stark. Die Stärke der Absorption kann mit der Plastiksorte variieren. Das hinzugekommene Wasser führt zu weiterer Absorption.		

