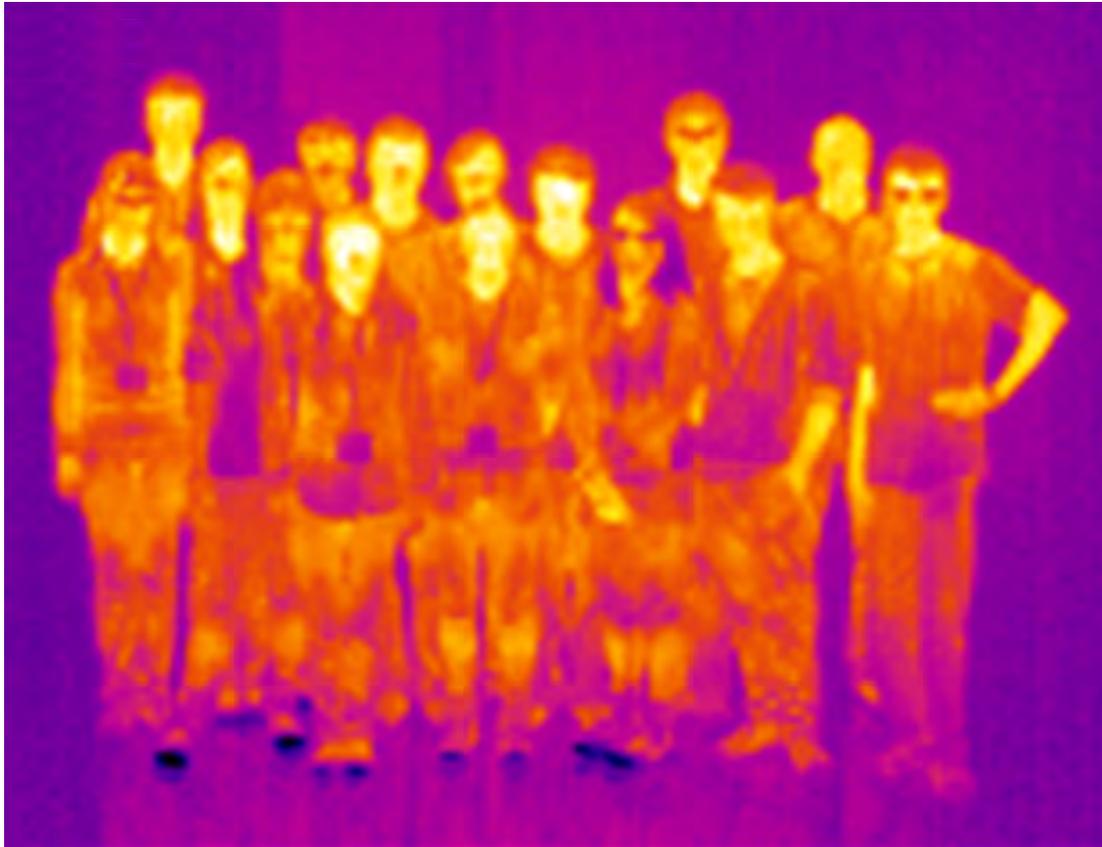


Kurs 5 – Physik: Durchblick mit Infrarot



Unser Kurs

Christina zeichnete sich besonders durch ihren ausgeprägten Humor und ihre fröhliche Art aus. Sie motivierte die Truppe auf Durststrecken mit ihrem lustigen Wesen, sodass wir gerne mit ihr zusammen arbeiteten und gemeinsam lachten. Ihre Kreativität ließ auch in stressigen Situationen nicht nach, was die „Emissionsgrad-Dose“ bezeugen kann.

Dana Da unser Kursraum jeden Morgen stark nach Kaffee roch, und weil sich unsere Kursleiter strikt weigerten, ihr Kaffee auszuhändigen, litt Dana schnell unter Entzugerscheinungen. So führte auf unserer Exkursion nach Heidelberg ihr erster Weg in einen Starbucks, um dort ihre Sucht zu befriedigen. Aber auch an fachlichen Kenntnissen

mangelte es bei ihr nicht und oft hatte sie fördernde Beiträge in den Kurs eingeworfen. Außerdem konnten wir sie als einen sehr liebevollen Menschen kennenlernen.

Julian war durch seine Computerkenntnisse von sowohl Word und Excel, als auch Videoschnitte und Programmierung ein wichtiger Bestandteil des Kurses. Durch sie war er vor allem bei der Dokumentation nicht wegzudenken. Aber auch mit seinem Sinn fürs Praktische war er der Experte für die dynamische Füllstandmessung.

Katharina Still, aber mit unheimlich großem Allgemeinwissen, so lernten wir Katharina kennen. Nicht zuletzt durch ihre kritische Art wurden unsere Präsentationen zu dem,

was sie sind. Sie war sehr interessiert an dem Thema und mit großem Eifer dabei.

Lisa Zwar dürfen wir laut ihr nur „Liebes“ über sie schreiben, aber viel anderes könnte man sowieso nicht über sie erzählen. Am Sporttag konnte unsere „Kursälteste“ (jedenfalls von uns Teilnehmern) leider nicht teilnehmen, trotzdem feuerte sie uns voller Elan an, was letztendlich auch einen großen Teil zum ersten Platz beigetragen hat. Sie war immer motiviert und gut gelaunt (jedenfalls, wenn wir nicht gerade an ihrem Erzfeind Nr. 1 arbeiteten: DEM COMPUTER!)

Manuel (kommt aus: „Hier um’s Eck“) Obwohl wir hier von der Außenwelt abgeschnitten waren, war Manuel im Bereich des Sportes immer auf dem aktuellsten Stand. Aber im Kurs brachte er seine eigenen Ideen ein. Er erfand neue Wörter, die man aber gleich verstand. Des weiteren hat er einen starken neidemerischen (oder auf Deutsch: Neude-nauer) Dialekt, der viele zum lachen brachte, vor allem die ständige Wiederholung des Wortes „Dingens-Bummens“.

Marco Mit seinem unverwechselbaren horbschen Dialekt hörte man sofort, wenn er mal wieder was zu sagen hatte. Er wusste immer Bescheid über unsere tiefgründige Arbeit in die Welt der Physik. Auch bei der Abschlusspräsentation konnte er prompt Antworten auf Fragen finden, die für so manch eine/n eine wahre Herausforderung dargestellt haben.

Max ist jemand, der es nicht schafft, einen Tag ohne drei für ihn wesentliche Dinge zu überstehen: Elementarer Bestandteil seiner Philosophie sind kartierte Hemden und weiße T-Shirts, ohne die geht gar nichts! Außerdem immer dabei sind ein Kugelschreiber zum „(kreativen) Arbeiten“ und sein iPod. Er brachte uns nicht nur Jumpstyle bei, sondern versprühte stets gute Laune und war immer für einen Witz zu haben.

Paul zeichnete sich vor allem durch seine ironische Art aus, die uns immer wieder aufmunterte, wenn wieder einmal überhaupt nichts funktionierte. Auch am Computer gab er ständig Tipps und kannte sich damit super aus. Seine große Liebe galt den Zau-

berwürfeln, bei deren Lösung er von den zwei Wochen im Sommer bis zum Doku-Wochenende enorme Geschwindigkeitsfortschritte erzielte.

Teresa war die Zweitjüngste in unserem Kurs. Trotz ihrer schüchternen Art war sie eine treibende Kraft im Kurs und bei den zahlreichen Experimenten. Besonders ihre Brownies wurden von allen sehr bewundert. Auch in der Batik-KüA konnte sie alle von ihrer kreativen Ader überzeugen und mit ihrer Begeisterung anstecken.

Theresa war unser kleines Küken im Kurs. Das lies sie sich allerdings nicht anmerken. Sie brachte uns mit ihrer Art alle zum Lachen und war auch sonst immer gut gelaunt, hilfsbereit und auch sehr zielstrebig (Zitat: „Faulheit ist mein höchstes Gut!“... wir sind da allerdings ganz anderer Meinung ☺). In den Sommerferien zeichnete sie sich vor allem durch ihre riesigen Portionen in der Mensa aus.

Wayne Man könnte denken, Wayne ist alles egal, aber so ist es nicht. Er ist ein sehr guter Teamkamerad. Er bringt immer neue Ideen ein, die zum Thema passend und nützlich sind. Jeder der mit ihm zusammen gearbeitet hat weiß, dass das Arbeiten mit ihm viel mehr Spaß macht. Wayne hat immer gute Laune, die die Umstehenden sehr schnell ansteckt.

Daniela Obwohl sie manchmal ein bisschen verpeilt war, war sie eine hervorragende Korrekturleserin und auch als Schülermentorin Spitze! Man konnte sie sofort für eine neue Idee zur Durchführung eines physikalischen Versuchs begeistern. Sie half dann auch tatkräftig mit. Sie pflegte stets einen guten Kontakt zu uns und motivierte uns auch in den Phasen, in denen gewisse Internet-Portale interessanter erschienen als unsere eigentliche Arbeit.

Jörg Als Prüfungsrichter beim „Bärenzählen“ war Jörg auch außerhalb des Kurses aktiv. Im Kurs wurde er alle zehn Minuten wegen seines großen Wissens gelöchert, blieb aber trotz aller Fragen immer der hilfsbereite und gutmütige Mensch, der ein offenes Ohr für uns hatte.

Matthias Unser Onkel Matthias, der von so manch einem in seiner Abwesenheit „Matze“ genannt wurde, las uns sehr zu unserem Vergnügen jeden Abend eine „Gute-Nacht-Geschichte“ vor. Er war derjenige, der uns immer wieder an unsere eigentliche Arbeit erinnerte und uns mit großer Geduld immer wieder aufs Neue die Sachverhalte der Physik erklärte.

Infrarot – was ist das überhaupt?

LISA BRANDENBURG

Die Entdeckung der Infrarotstrahlung

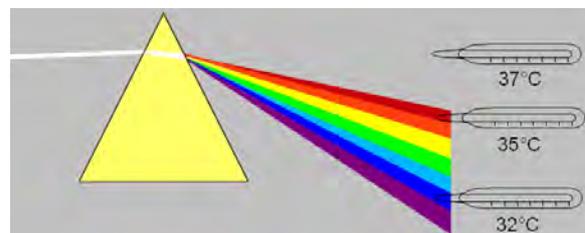
Die Infrarotstrahlung wurde im Jahre 1800 von dem deutsch-englischen Astronom und Musiker Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822) entdeckt – und das mehr durch Zufall.



Friedrich Wilhelm Herschel¹

Um die Energieverteilung des Sonnenlichts zu messen, baute Herschel einen Versuch auf, bei dem Sonnenlicht durch ein Glasprisma fällt und dabei in seine Spektralfarben zerlegt wird. Er positionierte drei Quecksilberthermometer

hinter dem Glasprisma, sodass jedes in einer anderen Farbe des Spektrums lag. Angeblich soll er dann eine Teepause eingelegt haben. Als er zurückkam, lag eines der Thermometer außerhalb des Spektrums, da die Sonne weiterwanderte bzw. die Erde sich weiter gedreht hatte. Erstaunt stellte er fest, dass das Thermometer, das nun außerhalb des Spektrums lag, die höchste Temperatur anzeigte. Herschel schloss daraus, dass es neben dem sichtbaren Licht noch einen weiteren Bereich geben muss. Diesen Bereich bezeichnete er als Infrarotbereich.



Herschel-Versuch

Was ist Infrarotstrahlung?

Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) ist elektromagnetische Strahlung, die von allen Objekten mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt ausgesendet wird. IR-Strahlung ist für das menschliche Auge unsichtbar, aber wir können sie als Wärme spüren, wenn sie auf unsere Haut trifft. Deshalb wird IR-Strahlung auch als Wärmestrahlung bezeichnet.

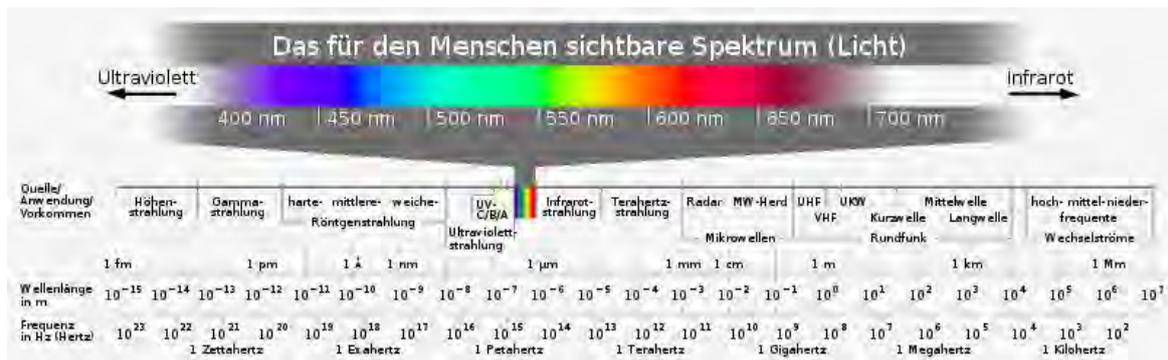
Der Infrarotbereich schließt sich an das rote Ende des sichtbaren Spektrums an. Daher kommt auch die Bezeichnung Infrarot (diesseits von rot).

Der Wellenlängenbereich von Infrarot reicht etwa von 780 Nanometer bis 1 Millimeter. Er wird in drei kleinere Bereiche aufgeteilt:

- das nahe Infrarot (NIR) mit einer Wellenlänge von 0,8 bis 5 Mikrometer
- das mittlere Infrarot (MIR) mit einer Wellenlänge von 5 bis 30 Mikrometer
- das ferne Infrarot (FIR) mit einer Wellenlänge von 30 bis 350 Mikrometer

An den FIR-Bereich schließt sich der Submillimeterbereich an und daran der Mikrowellenbereich.

¹Quelle: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:William_Herschel01.jpg



Das elektromagnetische Spektrum²

Reflexion/Streuung

TERESA WANG

Welche Übereinstimmungen gibt es bei den Eigenschaften der IR-Strahlung und des für uns Menschen sichtbaren Lichts? – Das haben wir uns zu Beginn des Kurses gefragt.

Die einfachste Möglichkeit das herauszufinden ist, es einfach auszuprobieren – und genau das haben wir dann gemacht. Zunächst nahmen wir einen normalen Spiegel, also eine mit einem Metallüberzug verspiegelte Glasplatte zur Hand, an der sichtbares Licht bekanntlich sehr gut reflektiert wird. In der untenstehenden Thermographie-Aufnahme ist die reflektierte Person zwar zu erkennen, jedoch lange nicht so deutlich, wie man es bei einem Spiegel kennt.

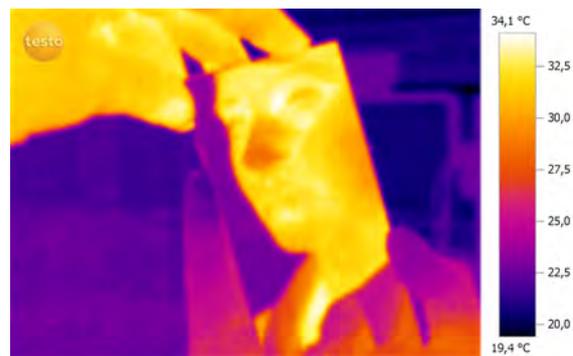


Ein normaler Glasspiegel reflektiert im Infraroten nur schlecht.

Woran liegt das? Welches Material ist dafür verantwortlich, das Glas oder das Metall? Ein

²Quelle: Horst Frank/Phrood/Anony
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Electromagnetic_spectrum_c.svg

weiterer Versuch half uns, das zu verstehen. Wir untersuchten zuerst eine polierte Metallplatte auf ihre Reflexionseigenschaften. Das Ergebnis: Sowohl sichtbares Licht als auch IR-Strahlung werden sehr gut reflektiert.

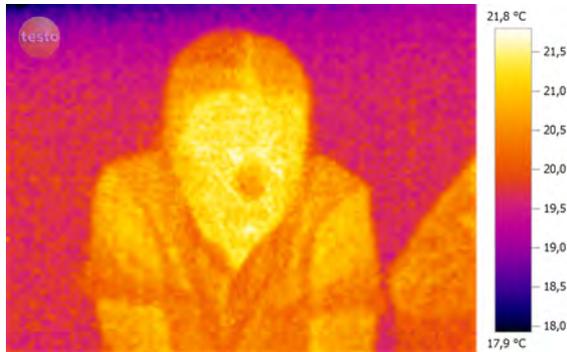


Eine polierte Metallplatte reflektiert sichtbares Licht wie auch im Infraroten.

Wie reagiert Infrarotstrahlung nun aber auf Glas? Die Lösung brachte uns wieder ein Experiment. Wie zu erwarten, ist Glas durchlässig für sichtbares Licht – aber nicht für Infrarotstrahlung! In der Infrarotaufnahme unserer Glasscheibe ist dafür aber eine Reflexion zu erkennen. Daraus lässt sich schließen, dass Glas IR-Strahlung größtenteils absorbiert (aufnimmt) und einen kleinen Rest reflektiert. Das liefert uns die Erklärung für die schlechte Reflexion des Spiegels.

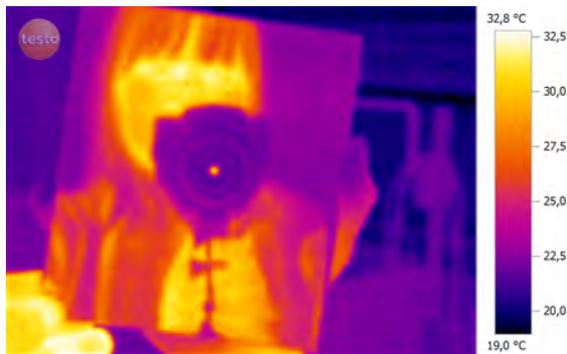
Wie sieht es aber mit Materialien aus, die sichtbares Licht kaum reflektieren? Dazu experimentierten wir mit einer matten Metallplatte. Das Ergebnis erscheint zunächst verblüffend: Durch die Wärmebildkamera lässt sich eine nahezu perfekte Reflexion erkennen. Woran liegt

das? Auch dieses Phänomen lässt sich physikalisch erklären: Die (mikroskopisch gesehen) raue Oberfläche der matten Metallplatte streut das sichtbare Licht in alle Richtungen, es gibt



Man sieht nicht, was sich jenseits der Fensterscheibe befindet, stattdessen sieht man ein schwaches Spiegelbild.

also kaum Reflexion. Die IR-Strahlung hat jedoch eine relativ große Wellenlänge, sodass die „raue“ Oberfläche im Vergleich dazu glatt erscheint und die Lichtwellen reflektiert.



Überraschenderweise ist eine matte Metallplatte ein „Infrarot-Spiegel“.

Das Ergebnis unserer Versuchsreihe lautet also: IR-Strahlung wird nicht immer auf die gleiche Weise wie sichtbares Licht reflektiert, es kommt auf den Absorptionsgrad und die Oberflächenbeschaffenheit des Materials an.

Absorption von Infrarotstrahlung

MARCO RAIBLE, MANUEL TRAUTMANN

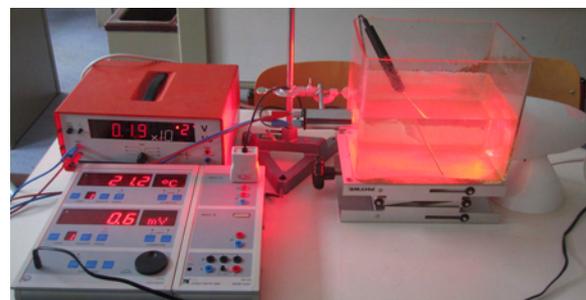
Auf unserem Tisch fanden wir ein Wasserbecken und eine Infrarotlampe vor. Die Aufgabe war sehr einfach: Wir sollten uns eine Frage zu

diesem „Rohmaterial“ überlegen. Unsere erste Frage war dann auch gleich, welche Materialien wie stark Infrarotstrahlung absorbieren. Dazu benutzten wir das Wasserbecken und ermittelten, wie viel Strahlung von dem Becken absorbiert wird. Für den Versuch bestrahlten wir das Wasserbecken 15 Minuten lang mit einer Infrarotlampe. Dabei wurde das Wasser um 2,5 K wärmer. Bei einer bekannten Masse des Wassers von 4600 g kann man dann mit Hilfe folgender Formel leicht die Energie berechnen, die vom Wasser aufgenommen wurde:

$$\begin{aligned} E_{\text{Wasser}} &= c \cdot m \cdot \Delta\vartheta \\ &= 4,16 \frac{\text{J}}{\text{g K}} \cdot 4600 \text{ g} \cdot 2,5 \text{ K} \\ &= 48\,100 \text{ J} \end{aligned}$$

Man kann auch errechnen, wie viel Energie die Lampe aufgenommen hatte. Dazu verwendet man diese Formel:

$$\begin{aligned} E_{\text{Lampe}} &= P \cdot t = 100 \text{ W} \cdot 15 \text{ min} \\ &= 90\,000 \text{ J} \end{aligned}$$



Links sieht man den Messverstärker, darunter die Temperaturanzeige. Rechts ist das Wasserbecken, welches durch die Infrarotlampe bestrahlt wird. Links neben dem Becken steht die Thermosäule.

Die Lampe hat 90 000 J Energie aufgenommen, davon absorbierte das Wasser über die Hälfte. Der tatsächliche Absorptionsgrad ist sogar höher, weil die Lampe Energie nicht nur an das Wasser, sondern auch an die Umgebung abgibt. Denselben Versuch führten wir auch mit einem Plastikgefäß durch. Dieses Mal wurde die Vorderwand des Gefäßes bis zu 67 °C warm, das Wasser erwärmte sich jedoch kaum.

Aus diesen beiden Versuchen könnte man folgern, dass die Ursache für die unterschiedlichen Werte an den Materialien der Wände liegt, weil das Glas eine bessere Wärmeleitfähigkeit besitzt und somit die Energie schneller an das Wasser abgeben kann. Dies lässt sich jedoch mit einem einfachen Versuch widerlegen. Hält man die Hand vor eine eingeschaltete Infrarotlampe, so spürt man die Hitze sehr deutlich. Befindet sich nun bei gleichem Abstand zwischen Hand und Lampe nur das Glas des Gefäßes, so ist die Wärme noch gut spürbar, aber nicht mehr so stark wie vorher. Befindet sich das Gefäß mit Wasser dazwischen, so fühlt man die Wärme so gut wie gar nicht mehr. Hält man hingegen eine Plexiglasscheibe zwischen Lampe und Hand, so fühlt es sich nur wenig warm an. Daraus haben wir geschlossen, dass der größte Teil der Energie vom Wasser absorbiert wird und nicht vom Glas, und beim Versuch mit dem Plexiglasgefäß schon von diesem.

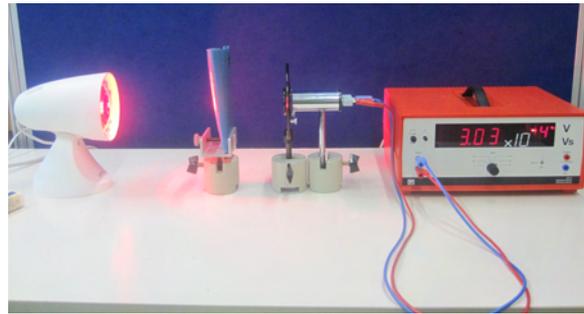
Als nächstes wollten wir den exponentiellen Zusammenhang zwischen der Füllhöhe im Gefäß und der hinter dem Gefäß ankommenden Strahlungsintensität überprüfen. Zuerst versuchten wir es mit der bekannten Glaswanne. Die gemessenen Werte entsprachen jedoch nicht dem erwarteten exponentiellen Zusammenhang. Unsere Vermutung war, dass die Ursache an der gewölbten Glasunterseite liegen muss, die wie eine Art Sammellinse fungierte, und so unsere Werte verfälschte. Deswegen haben wir weitere Messreihen durchgeführt, bei denen wir versuchten, mögliche Fehlerquellen zu eliminieren:

- Mit einem Glaszylinder anstatt des Gefäßes
- Der Glaszylinder wurde mit Aluminiumfolie ausgekleidet.
- Vor die Thermosäule wurde ein Infrarotdurchlassfilter gehalten.
- Der Abstand zwischen Infrarotlampe und Wasseroberfläche blieb unverändert.

Die besten Werte erhielt man, wenn alle Maßnahmen zusammen angewendet wurden. Aber selbst dann gab es starke Abweichungen vom erwarteten Zusammenhang, die wir uns letztendlich nicht erklären konnten.

Bei einer Variante des Versuchs wurde der exponentielle Zusammenhang dagegen gut bestä-

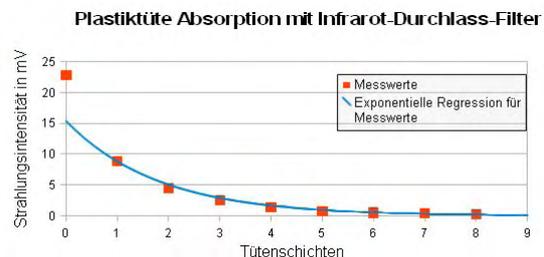
tigt:



Der Versuchsaufbau

Die Infrarotlampe wird vor eine Plastiktüte gestellt. Hinter der Plastiktüte steht eine Thermosäule, die mit einem Messverstärker verbunden ist, und vor der noch ein Infrarot-Durchlassfilter steht. Nun misst man die Strahlungsintensität bei einer unterschiedlichen Anzahl von Schichten [doppelt, 3fach, 4fach, n-fach] der Plastiktüte.

Aus diesen Werten erhielten wir folgendes Diagramm:



Die durchgelassene Strahlung in Abhängigkeit von der Schichtdicke

Man erkennt einen schönen exponentiellen Verlauf. Die Messwerte liegen fast alle direkt auf der exponentiellen Ausgleichsline. Nur der erste Punkt fällt aus der Reihe, da an der ersten Schicht der Plastiktüte Infrarotstrahlung reflektiert bzw. gestreut wird. Dies ist an den weiteren Schichten nicht mehr möglich, da diese dann so eng aneinander liegen, dass sich kaum noch Luft dazwischen befindet.

Wir können daraus jetzt folgendes Fazit ziehen:

- Wasser und Plexiglas absorbieren Infrarotstrahlung sehr stark, Glas und unsere Plastikfolie deutlich geringer.

- Den Zusammenhang zwischen Absorption und Materialdicke kann man exponentiell beschreiben: Verdoppelt man die Materialdicke, halbiert sich die Strahlungsintensität; verdoppelt man die Materialdicke nochmals, ist nur noch 1/4 der Ausgangsstrahlung vorhanden.

Kirchhoffsches Strahlungsgesetz

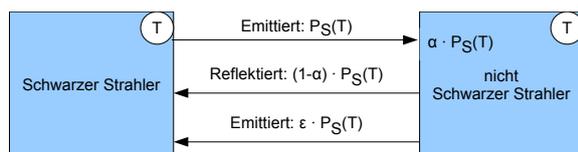
DANA TRAN, KATHARINA ENIN

Ein deutscher Physiker namens Gustav Robert Kirchhoff untersuchte 1859 den Zusammenhang zwischen Absorption und Emission von Strahlung.

Um dies besser zu verstehen, führten wir ein Gedankenexperiment durch, welches im Folgenden beschrieben wird.

Ein Objekt, welches sämtliche Strahlung, die auf ihn auftrifft, absorbiert, nennt man „Schwarzer Körper“ oder auch „Schwarzer Strahler“. Sein Absorptionsvermögen α , auch Absorptionsgrad genannt, beträgt 100 %. Es gilt somit $\alpha = 1$, das heißt, es wird keine Strahlung reflektiert oder transmittiert (durchgelassen).

In unserem Gedankenexperiment stellen wir einen Schwarzen Strahler einem Nicht-Schwarzen Strahler gegenüber.



$P_S(T)$ gibt die Strahlungsleistung eines Schwarzen Strahlers bei einer bestimmten Temperatur T an.

Wir berechnen die Strahlungsleistung $P(T)$ des anderen Körpers als Anteil der Leistung des Schwarzen Strahlers:

$$P(T) = \varepsilon \cdot P_S(T)$$

Den Faktor ε nennt man Emissionskoeffizient bzw. Emissionsgrad.

Ein schwarzer Strahler mit $\varepsilon = 1$ und ein nicht schwarzer Strahler mit $\varepsilon \neq 1$, die beide dieselbe Temperatur besitzen, werden gegenüber gestellt.

Der Schwarze Strahler sendet Strahlung mit der Leistung $P_S(T)$ aus. Die vom Schwarzen Strahler emittierte Strahlung trifft auf den Nicht-Schwarzen Strahler, der einen bestimmten Anteil $\alpha \cdot P_S(T)$ der Strahlung absorbiert. Der Rest der Strahlung $(1 - \alpha) \cdot P_S(T)$, welcher vom Nicht-Schwarzen Strahler nicht absorbiert wird, wird reflektiert und anschließend vom Schwarzen Strahler absorbiert.

Der nicht-schwarze Strahler emittiert seinerseits die aufgenommene Strahlung $\varepsilon \cdot P_S(T)$, die ebenfalls vom Schwarzen Strahlers absorbiert wird.

Da sich die Temperatur der Körper ja nicht von alleine ändert, gilt folgende Energiebilanz:

$$\begin{aligned} P_S(T) &= (1 - \alpha) \cdot P_S(T) + \varepsilon \cdot P_S(T) \\ 1 &= (1 - \alpha) + \varepsilon \\ \alpha &= \varepsilon \end{aligned}$$

Wie man sieht, ist der Emissionsgrad ε gleich dem Absorptionsgrad α . Daraus folgt: Je besser ein Körper Strahlung absorbiert, umso mehr emittiert er. Je mehr dagegen reflektiert wird, desto weniger wird absorbiert und dementsprechend wird auch weniger emittiert. Daraus folgt aber auch, dass kein Objekt mehr Strahlung emittieren kann als ein Schwarzer Strahler, da das Absorptionsvermögen α und somit auch der Emissionsgrad ε nicht größer als 1 sein können ($\varepsilon \leq 1$).

Der Zusammenhang $\alpha = \varepsilon$ ist auch als Kirchhoffsches Strahlungsgesetz bekannt.

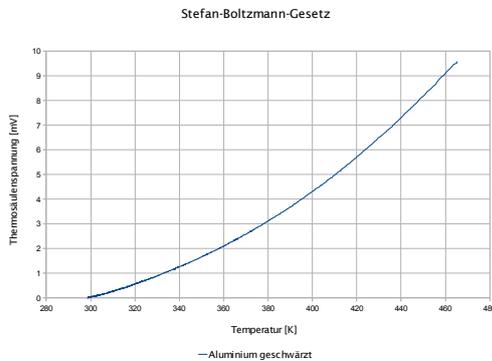
Schwarzer Strahler

KATHARINA ENIN, DANA TRAN

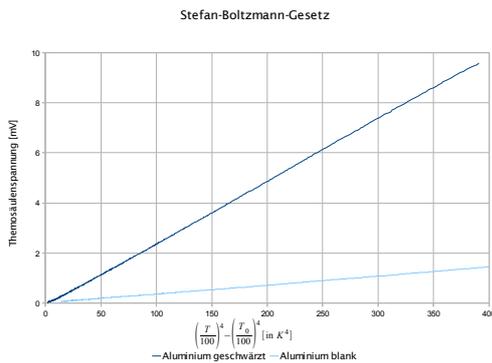
Um die Funktionsweise der Wärmebildkamera zu verstehen, haben wir uns mit folgendem Versuch beschäftigt:

Ein berußtes Aluminiumplättchen wird auf ca. 250 °C erhitzt und auf einen Temperaturfühler aufsteckt. Direkt vor das Plättchen wird eine Thermosäule gestellt. Die an der Thermosäule gemessene Spannung ist ein Maß für die von dem Plättchen ausgesandte Strahlungsleistung. Strahlungsleistung und Temperatur werden von einem Messwertfassungssystem aufgezeichnet.

In einem Diagramm werden unsere Messergebnisse (Thermosäulenspannung in mV gegen Temperatur in K) eingetragen. Unsere Werte bilden folgende Kurve:



Aus der Theorie weiß man, dass die Strahlungsleistung proportional zur 4. Potenz der Temperatur ist. Um das zu bestätigen, haben wir dieses Mal die Strahlungsleistung gegen die 4. Potenz der Temperatur aufgetragen.



Man sieht, dass sich die Messwerte jetzt auf einer Ursprungsgeraden befinden, d. h. die Strahlungsleistung ist tatsächlich proportional zur 4. Potenz der Temperatur in Kelvin (T_0 ist dabei die Umgebungstemperatur).

Für das blanke Aluminiumplättchen gilt dieses Gesetz ebenfalls. Allerdings strahlt blankes Aluminium weniger stark. Das blanke Aluminiumstückchen emittiert bei gleicher Temperatur weniger Infrarotstrahlung als das geschwärzte Aluminiumstückchen, da das blanke Aluminiumstückchen einen niedrigeren Emissionsgrad hat als das berußte Aluminiumplättchen. Das geschwärzte Aluminiumplättchen gleicht beinahe einem Schwarzen Strahler.

Im obigen Diagramm sieht man, dass das blan-

ke Aluminium nur etwa 15% des geschwärzten Aluminiums abstrahlt. Der Emissionskoeffizient von blankem Aluminium beträgt nach unserer Messung $\varepsilon = 0,15$ (der Literaturwert ist $\varepsilon = 0,1-0,4$).

Unsere Messung bestätigt somit das Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

P : Strahlungsleistung, σ : Stefan-Boltzmann-Konstante, A : Fläche, T : Temperatur in Kelvin

Nach diesem Gesetz funktioniert eine Wärmebildkamera. Sie wandelt für jedes Pixel die empfangene Strahlungsleistung in einen Spannungswert um und stellt diesen in einer Falschfarbe dar.

Der Emissionsgrad

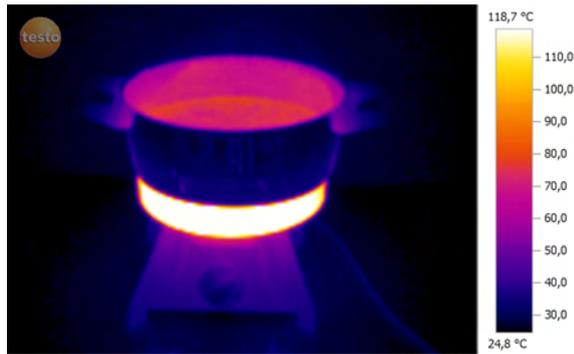
THERESA KÜCHLE

Kann man sich immer auf die Temperaturangaben der Wärmebildkamera verlassen? Um das nachzuprüfen, erhitzen wir einen polierten Edelstahl-Topf mit Wasser auf einer Herdplatte.



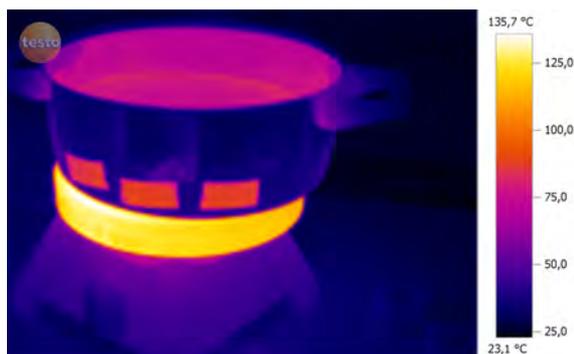
Die Kamera zeigte bei der Herdplatte und beim Wasser sehr hohe Temperaturen an, während sie beim Topf selbst nur Raumtemperatur anzeigte.

Doch wie kann das sein? Kann man einen Topf mit 70 °C heißem Wasser wirklich anfassen, ohne sich zu verbrennen? Wir probierten es natürlich nicht aus, doch das Kontaktthermometer half uns weiter: es zeigte dieselbe Temperatur an wie beim Wasser. Aber was macht die



Warmes Wasser in einem kalten Topf auf einer heißen Herdplatte?

Kamera denn falsch? Um der Sache näher zu kommen, klebten wir etwas normales Klebeband auf die Außenseite des Topfes, und siehe da, die Kamera zeigte bei den Klebebändern eine annähernd richtige Temperatur an.

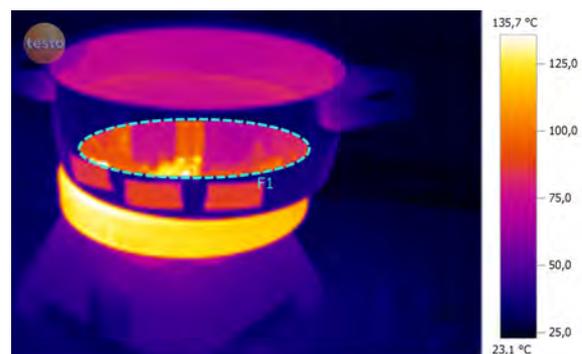


Das Klebeband verrät die wahre Temperatur.

Doch weshalb? Antwort darauf gibt uns der Emissionsgrad, der ein Maß für die Fähigkeit eines Stoffes Infrarotstrahlung auszusenden, ist. Nur wenige Stoffe transmittieren Strahlung, wie z. B. Plastiktüten, durch die man mit der Wärmebildkamera fast „hindurchsehen“ kann, so wie das für uns sichtbare Licht durch eine Fensterscheibe „fällt“. Der Stahltopf transmittiert keine Infrarotstrahlung, und reflektiert einen Großteil der Strahlung, weshalb nur ein Bruchteil absorbiert wird. Da der Absorptionsgrad dem Emissionsgrad entspricht, hat der Stahltopf einen sehr geringen Emissionsgrad.

Die meisten Materialien haben einen vergleichsweise hohen Emissionsgrad, weshalb bei der Kamera automatisch ein hoher Wert voreingestellt ist. Bei Oberflächen mit einem kleinen ε

wird deshalb eine zu niedrige Temperatur angezeigt. Um dieses Problem zu beheben, kann man z. B. den Emissionsgrad an der Kamera umstellen, was dann aber das ganze Bild betrifft und daher meistens nicht sinnvoll ist, da im Blickfeld der Kamera meist unterschiedliche Gegenstände (Materialien) mit verschiedenen Emissionsgraden sind. Die andere, meist geeignetere Methode ist, den Emissionsgrad für bestimmte Bildbereiche mit einer Software zu korrigieren.



Korrigiert man per Software den Emissionsgrad, stimmt die Temperaturskala wieder.

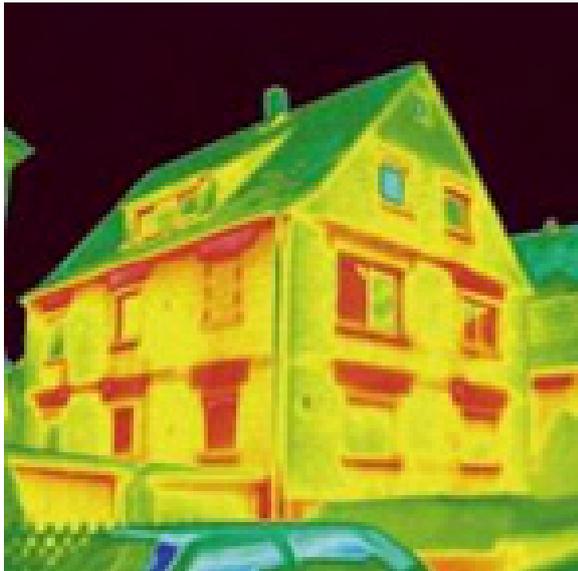
Man kann auch die Oberfläche des problematischen Objektes so verändern, dass sie kaum noch Strahlung reflektiert, etwa mit einem geeigneten Klebeband.

Anwendungen der Thermographie

CHRISTINA KLAUDA

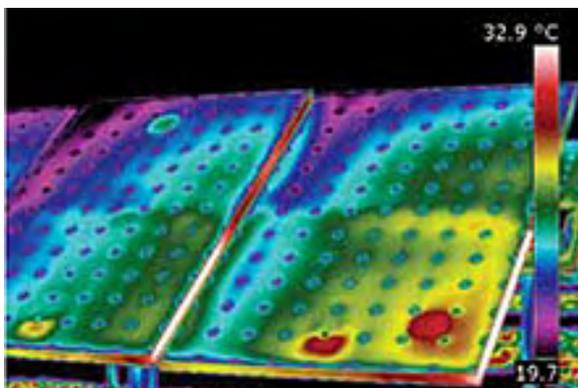
Den Begriff Infrarotstrahlung verbindet man vor allem mit Physikunterricht und viel Theorie. In unserem Physikkurs „Durchblick mit Infrarot“ lernten wir aber schnell die vielen Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis kennen.

Eine davon ist der Einsatz von Wärmebildkameras, wie sie uns von der Firma Testo zur Verfügung gestellt wurden. Wir verwendeten diese größtenteils dazu, Versuche zum Thema Infrarot durchzuführen. Doch auch im Alltag werden die Geräte genutzt. So kann man etwa auf dem Infrarotbild eines Hauses Isolationslücken erkennen. Von diesen Lücken wird mehr Wärmestrahlung ausgesandt, und das wiederum ist auf dem Bild als Farbunterschied erkennbar.



Isolationslücken bei einem Gebäude³

Häufig lassen sich defekte Bauteile daran erkennen, dass sie im Betrieb entweder kälter oder wärmer sind als ordnungsgemäß funktionierende Teile. Beispiele sind schadhafte Widerstände, kalte Lötstellen, heißgelaufene Achsen, defekte Bremsen oder wie in der Abbildung eine schadhafte Stelle in einem Photovoltaikmodul.

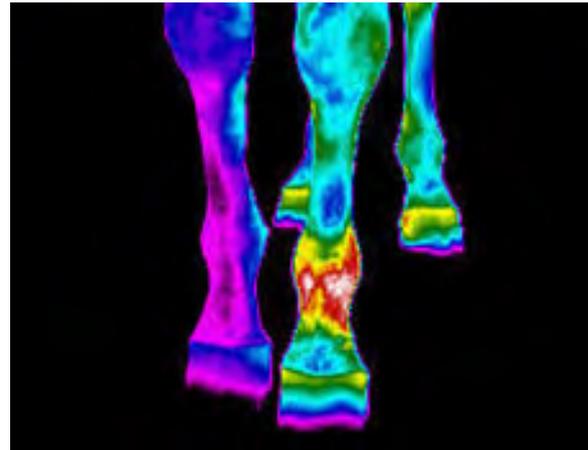


Eine defekte Solarzelle kann im Betrieb erkannt werden³

Veterinärmediziner stehen vor dem Problem, dass Tiere nicht sagen können, wo es weh tut. Auf einem Wärmebild kann man entzündete Stellen leicht identifizieren.

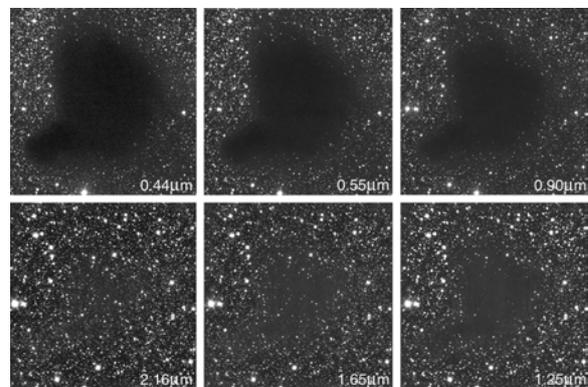
Aber nicht nur auf der Erde ist die Thermographie hilfreich. Auch in der Raumfahrt und

³Mit freundlicher Genehmigung der Herzog GmbH, <http://www.herzog-systemtechnik.de>



Ein entzündetes Gelenk³

Astronomie ist die Technik heutzutage nicht mehr wegzudenken. Bei unserer Exkursion nach Heidelberg zum Max-Planck-Institut erfuhren wir, wie Astronomen Sterne hinter einer für das sichtbare Licht undurchsichtigen interstellaren Wolke beobachten: Das funktioniert, weil die langwellige Infrarotstrahlung – im Gegensatz zum für uns sichtbaren Licht – von den Teilchen, aus denen die Wolken bestehen, nicht absorbiert wird.



Für Infrarotstrahlung ist eine Dunkelwolke durchsichtig⁴

Füllstandmessung

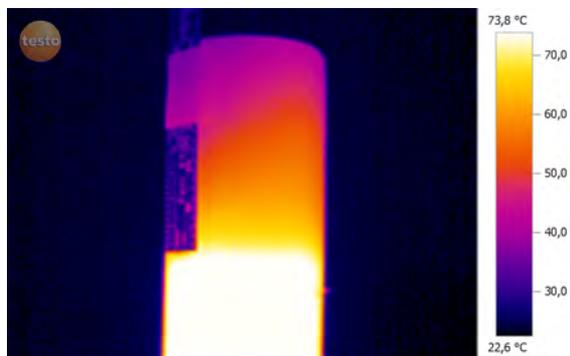
WAYNE WEIGEL, MAX LUTZ

Die Bedeutung der Füllstandmessung mit der Infrarotkamera zeigt sich in ihren Anwendungen

⁴Quelle: ESO, <http://www.eso.org/public/images/eso9934b>

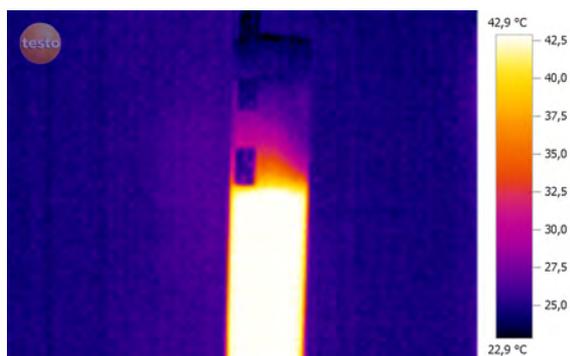
gen: Beispielsweise kann etwa die Polizei den Füllstand eines Tanklasters messen, ohne ein Messgerät fest installieren zu müssen. Eine andere Anwendung wäre die Messung des Füllstands einer explosiven Flüssigkeit in einem Behälter. Dort kann man keine elektrischen Geräte verwenden, da sonst Funken entstehen könnten.

Ob es tatsächlich möglich ist, mit Hilfe einer Wärmebildkamera den genauen Füllstand einer Flüssigkeit in einem geschlossenen Behälter zu bestimmen, wollten wir in unserem Kurs herausfinden.



Nahaufnahme des Füllstands; links kann man deutlich das Lineal erkennen, mit dem wir den „wahren Füllstand“ ablesen konnten

Dazu haben wir mehrere Versuche durchgeführt, und letztendlich wurde daraus auch ein Versuch für das Schülerlabor der Firma Testo,



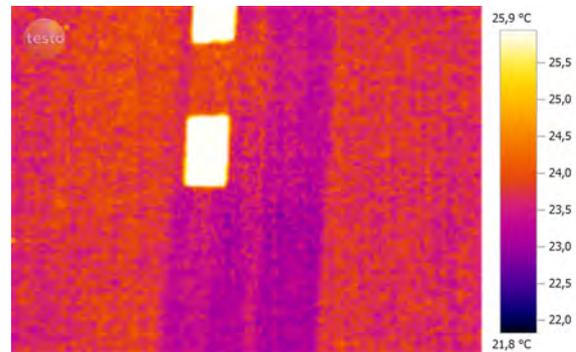
Bei heißem Wasser ist der Füllstand deutlich erkennbar.

die uns netterweise ihre Thermographieausrüstung zur Verfügung gestellt hat.

Hierbei hatten wir zu beachten, dass wir mit der Wärmebildkamera nicht durch das Gefäß hindurchsehen können, vielmehr erfasst diese

nur die Oberflächenstrahlung erfasst. In unserem Fall erwärmt Wasser das Gefäß.

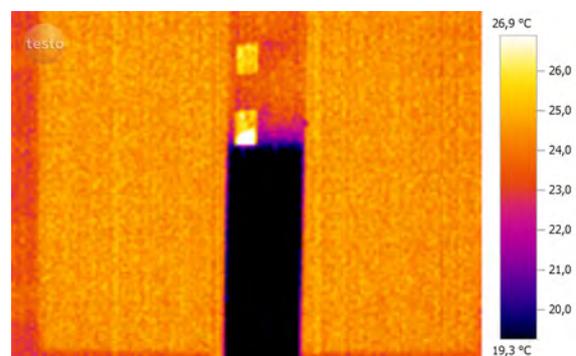
Bei unserem Versuch ging es also um die Frage: Wie groß muss die Differenz der Temperatur des Wassers zur Zimmertemperatur sein?



Versuch bei Zimmertemperatur, also ca. 23 °C; der Füllstand ist nicht erkennbar

Um das herauszufinden, präparierten wir ein Plastikrohr an der Außenseite mit einem Metalllineal. Damit wollten wir später den „wahren Füllstand“ mit dem auf der Wärmebild abgebildeten Füllstand vergleichen. Das Lineal ist auf den Bildern als Rechteck erkennbar, unterbrochen vom Klebeband, mit dem es befestigt wurde.

Als erstes füllten wir das Plastikrohr mit Wasser, das Zimmertemperatur hatte. Anschließend betrachteten wir es mit der Wärmebildkamera, auf deren Bildschirm sich jedoch nur das Rohr und nicht der Füllstand des Wassers erkennen ließ.



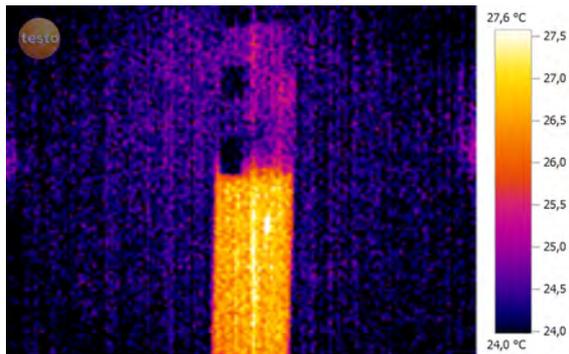
Auch, wenn das Wasser kälter ist als die Umgebung, kann man den Füllstand bestimmen.

Daraufhin erhitzen wir das Wasser auf 40 °C und füllten es wieder in das Plastikrohr. Die-

ses Mal war auf dem Wärmebild eine klare Temperaturgrenze zu sehen, die dem Füllstand entsprach.

Außerdem konnten wir bei einem weiteren Versuch mit kaltem Wasser (15 °C) feststellen, dass der Füllstand erkennbar ist.

Bei unserem Gefäß kann die Füllstandhöhe also schon bei einer Temperaturabweichung von etwa 2–4 K von der Zimmertemperatur die Füllstandhöhe klar bestimmt werden kann.



Schon bei einer Abweichung von nur 2 K kann man erkennen, wie hoch das Wasser steht.

Dynamische Füllstandsmessung

JULIAN KELLER

Wie wir eben erkennen konnten, ist eine Thermographiekamera zur Füllstandsmessung sehr gut geeignet, wenn sich dieser nicht ändert. Was aber, wenn das Gefäß gerade befüllt wird?

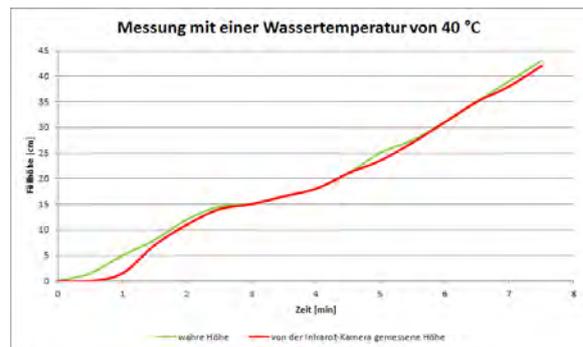
Hierzu haben wir einen Versuchsaufbau gewählt, bei dem ein Plastikrohr langsam über einen Schlauch mit heißem Wasser befüllt wurde. Währenddessen wurde mit einer Wärmebildkamera der Firma Testo der aktuelle Füllstand gemessen. Zur Ermittlung des tatsächlichen Füllstands diente ein Ultraschallmessgerät der Firma Endress+Hauser, das gleichzeitig eingesetzt wurde.

Damit man während das Wasser eingefüllt wurde den „echten“ Füllstand mit dem Ergebnis der IR-Kamera vergleichen konnte, haben wir ein kurzes Video erstellt, in dem die Aufnahme der Wärmebildkamera und das Messergebnis-Diagramm des Ultraschallmessgeräts übereinander gelegt wurden. Somit konnte man, wäh-



Versuchsaufbau

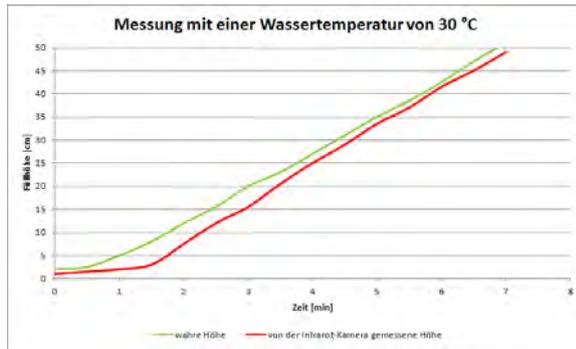
rend das Wasser eingefüllt wurde, den „echten“ Füllstand mit dem Ergebnis der IR-Kamera vergleichen. Das Ergebnis kann man in folgenden Diagrammen erkennen.



Beim ersten Versuch, bei dem die Wassertemperatur 40 °C betrug, waren die Ergebnisse der Wärmebildkamera und des Ultraschallmessgeräts relativ ähnlich.

Um nun zu überprüfen, ob sich dies bei niedrigeren Temperaturen anders verhält, haben wir eine zweite Messung durchgeführt, diesmal betrug die Temperatur des Wassers jedoch nur 30 °C.

Die Ergebnisse haben deutlich gezeigt, dass die



angezeigte Füllstandshöhe der Wärmebildkamera der angezeigten Füllstandshöhe des Ultraschallmessgeräts hinterherhinkt.

Dies ist damit zu begründen, dass die Kamera nicht den Füllstand im Objekt wahrnehmen kann, sondern nur die Oberflächentemperatur ermitteln kann. Diese passt sich jedoch bei geringerer Differenz zur Umgebungstemperatur langsamer an die Temperatur des Wassers an. Folglich dauert es länger, bis die IR-Kamera den Unterschied messen kann.

Fazit

Die Infrarotkamera kann zur dynamischen Füllstandsmessung verwendet werden, jedoch bleibt zeitlich der gemessene Füllstand hinter dem aktuellen Füllstand zurück. Dies kann minimiert werden, indem der Unterschied der Temperatur der Flüssigkeit zur Umgebungstemperatur möglichst groß gehalten wird. Eine Verbesserung kann auch hervorgerufen werden, indem ein Gefäß mit guter Wärmeleitfähigkeit verwendet wird.

Exkursion

TERESA WANG

Einer der Höhepunkte der zwei Akademiewochen war unsere Exkursion. Zunächst besichtigten wir zusammen mit dem Astronomiekurs die Landessternwarte in Heidelberg (nähere Beschreibung im Teil des Astronomiekurses). Anschließend machten wir uns auf den Weg zum Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg.

Dort besichtigten wir zunächst das Büro von Olaf und Cecilia, um einen Einblick in die Ar-

beit am Institut zu bekommen. Danach bekamen wir einen Vortrag über die Infrarot-Astronomie, was ja sowohl für den Physik- als auch für den Astronomiekurs interessant war. Wir erfuhren, dass die Thermographie in der Astronomie besonders zum „Hineinschauen“ in Dunkelwolken, den Entstehungsorten von neuen Sternen, verwendet wird. Diese Beobachtung kann zum einen mit Teleskopen von der Erde aus erfolgen, zum anderen aber auch aus der Luft innerhalb der Erdatmosphäre (z. B. mit dem SOFIA-Flugzeug) oder direkt im Weltraum durch IR-Satelliten und Teleskope. Dabei ergibt sich im Weltraum allerdings das Problem, dass die Kameras selbst IR-Strahlung emittieren (aussenden). Sie müssen also mit Flüssiggasen gekühlt werden.

Während des Vortrags wurde uns auch erklärt, dass die Kamera durch gleichmäßige Bewegungen über das Objekt viele einzelne Teilbilder als Film aufnimmt, die dann zu einem großen Gesamtbild zusammen gefügt werden. Das faszinierte die meisten von uns besonders.

Nach dem interessanten Vortrag gingen der Physik- und der Astronomiekurs getrennte Wege.

Der Physikkurs blieb am Max-Planck-Institut, um das dortige Physik-Labor zu besichtigen. Da wir die für uns vorbereiteten Experimente zur Thermographie aber schon im Kurs kennengelernt hatten, wurde uns flüssiger Stickstoff vorgeführt. Es löste eine allgemeine Begeisterung aus, die eigene Hand ganz kurz in den ca. -200 °C warmen (oder viel mehr kalten) Stoff zu halten. Dabei konnte uns natürlich nichts passieren (vorausgesetzt, man hält die Hand nicht zu lange hinein), da die Hand von einem gasförmigen Stickstoffpolster umgeben wird. Zum Schluss zeigten uns die beiden Wissenschaftler außerdem eine Besonderheit ihres Labors: Es war ein Faradayscher Käfig. Um das zu demonstrieren, schalteten sie ein Radio ein. Sobald die Tür geschlossen wurde, konnten die Radiowellen es nicht mehr erreichen und es verstummte schlagartig. Wenn man sich jedoch einem elektrischen Gerät näherte, setzte aufgrund des elektromagnetischen Feldes ein Piepsen ein.

Im Anschluss an diesen krönenden Abschluss

am Max-Planck-Institut ging es per Bus nach Heidelberg, wo wir in kleinen Gruppen die Hauptstraße auf eigene Faust erkundeten. Auf der Rückfahrt im Zug trafen wir dann auf die nicht weniger erschöpften Teilnehmer des Medizinkurses.

Im Kurs

PAUL MEEHAN, CHRISTINA KLAUDA

Es ist 9 Uhr morgens. Aus dem Physikraum duftet es herrlich nach Kaffee. Doch: Der ist nicht für die 12 Kursteilnehmer. Ihr Auftrag: Erstellen von Schülerversuchen für die Messgerätefirma Testo.

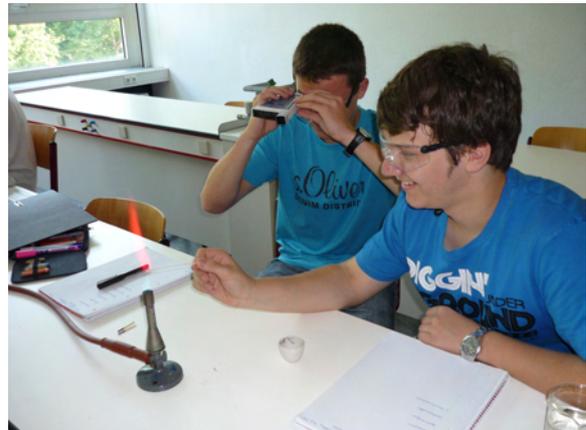


Der Physikkurs

Nach kurzer Besprechung der Lage geht die Arbeit der Gruppen weiter. Größtenteils werden am Computer die Messergebnisse ausgewertet und zusammengefasst, doch auch die experimentelle Arbeit kommt nicht zu kurz. Man erkennt den Unterschied zu Schule deutlich: Es herrscht ein lockeres Arbeitsklima, die Kursleiter sind keine „Aufpasser“ sondern Helfer, jeder kann in seinem eigenen Tempo arbeiten, statt starren Versuchsanweisungen zu folgen werden viele Versuche selbst entwickelt und jeder hilft jedem, wo er nur kann.

Nachdem wir die erste Woche hinter uns hatten, fingen wir, wieder in neuen Kleingruppen, an, unsere eigentliche Aufgabe zu bearbeiten: Schülerversuche für die Firma Testo. Während der ersten Woche hatten wir uns mit dem Thema

vertraut gemacht und Experimente durchgeführt.



Die experimentelle Arbeit kam nicht zu kurz. . .

Nun waren wir an der Reihe uns selber Experimente zu überlegen.

Teilweise konnten wir Bestandteile der Experimente der ersten Phase übernehmen, aber größtenteils erarbeiteten wir sie selbst.

Auf unserem Tagesplan standen aber natürlich noch andere Dinge als die Arbeit im Physikraum und Klassenzimmer. Zu diesen „Events“ gehörte unter anderem das Sportfest, bei dem wir den ersten Platz belegten; und das nicht nur durch Jörgs Einstellung: „Mein Kurs gewinnt immer!“ Trotz fehlender Hymne für unseren Kurs (zwischenzeitlich hatte sich der Schlachtruf „Zicke Zacke, Zicke Zacke, Hoi, Hoi, Hoi!!!“ eingebürgert) legten wir sowohl beim „Adelsheimer-Bus-Ziehen“ als auch beim „Reifenlauf“ eine tolle Vorstellung hin.



Der Physikkurs beim „Adelsheimer-Bus-Ziehen“

So gewannen wir trotz der geringen Anzahl an Leuten, Lisa als Invalide konnte nur fotografieren und Maskottchen sein, einen „gesunden Obstkorb“, der nicht nur Obst enthielt und in den nächsten Tagen für einen rundum glücklichen Kurs sorgte. Davon gründlich und nachhaltig gestärkt, legten wir nach zwei gemeinsamen Wochen am letzten Tag noch vier absolut gelungene Abschlusspräsentationen hin, trotz Lampenfieber und großer Aufregung.

Versuche für das Schülerlabor der Firma Testo

Während der zwei Wochen in der Akademie stellte uns die Firma Testo einige Messgeräte, wie zum Beispiel die Wärmebildkameras und die Kontaktthermometer zur Verfügung. Eines unserer Ziele war es, Versuche für das Schülerlabor der Firma Testo zu entwickeln. Diese Versuche sollen dazu dienen, Schülern der Klassenstufe 7 bis 10 die Grundlagen der Infrarotstrahlung nahezubringen. Die Schüler sollen sich durch Experimente selbstständig erarbeiten, wie eine Wärmebildkamera funktioniert und wofür man sie benutzen kann.

Wir entwickelten fünf Versuche:

1. Bestimmung des Emissionsgrads ausgewählter Oberflächen

2. Der Zusammenhang zwischen Emission und Reflexion
3. Lambert-Strahler
4. Temperaturabhängige Füllstandmessung
5. Absorption von IR-Strahlung

Zu den Versuchen bereiteten wir Arbeitsblätter für die Schüler sowie Informationen für die Lehrer mit einer Beispielauswertung vor. Auf den folgenden Seiten ist ein Beispiel abgedruckt.

Danksagung

Unser Dank gilt den Firmen Testo und Endress+Hauser für die vielfältige Unterstützung unseres Kurses. Ebenfalls danken möchten wir Dr. Cecilia Scorza und PD Dr. Olaf Fischer vom Haus der Astronomie, deren Experimentierkoffer^a zum Thema Infrarotstrahlung wir einzelne Versuche, aber auch Anregungen entnahmen, und die uns den spannenden Besuch der Sternwarte und des MPI für Astronomie in Heidelberg ermöglichten.

^aScorza, C. & Fischer, O.: Handbuch „SOFIAs unsichtbares Weltall entdecken“ (Handbuch zum Experimentierkoffer mit 20 Infrarot-Experimenten), Publikation des Deutschen SOFIA Institutes 2011





Versuch 3: Lambert-Strahler

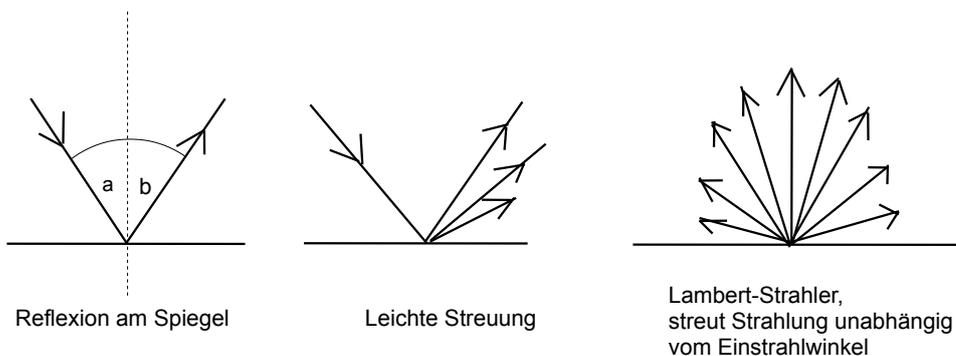
Fragestellung

Wie verhalten sich unterschiedliche Materialien in Bezug auf Streuung und Reflexion von Infrarot?

Einleitung

Viele Materialien spiegeln Strahlung oder streuen sie nur leicht. Es gibt aber auch andere Materialien, welche Strahlung in jede Richtung streuen. Solche Materialien nennt man Lambert-Strahler.

Dabei sollte es keine Rolle spielen, aus welchem Winkel die Strahlung auf das Material trifft.



Bei diesem Versuch untersuchen wir verschiedene Objekte daraufhin, ob sie Infrarot-Strahlung eher reflektieren oder streuen.

Material

- mehrere Stative
- Infrarot-Lampe
- Infrarot-Filter
- dünne Platte mit Griff
- Thermosäule
- Messverstärker oder computerunterstützte Messwerterfassung (z. B. Cassy von der Firma Leybold®)
- verschiedene Materialien zum Testen

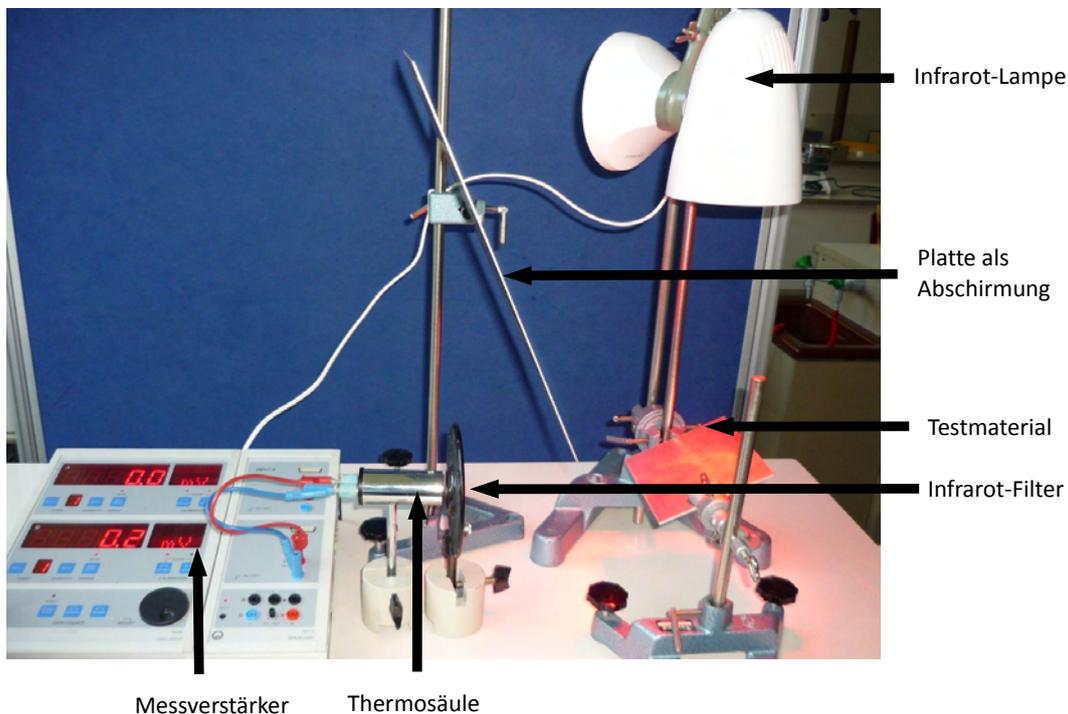
Versuchsaufbau

1. Schließt die Thermosäule mithilfe der Kabel an den Messverstärker an. Stellt den Infrarot-Filter vor die Thermosäule. Führt am Messverstärker eine Nullpunkts-Kompensation durch.
2. Spannt das zu testende Material in die Drehmuffe und befestigt diese im 30°-Winkel auf Höhe der Thermosäule.



3. Nehmt ein anderes Stativ und spannt darin die Infrarot-Lampe in einer Drehmuffe ein. Dabei solltet ihr beachten, dass die Lampe drehbar ist und dass sie beim Drehen immer den gleichen Abstand zum Testobjekt hat.
4. Die Lampe leuchtet auch direkt in die Thermosäule und verfälscht somit die Messung. Die Platte dient zur Vermeidung von Messungenauigkeiten. Deshalb spannt ihr die Platte zwischen Infrarot-Lampe und Thermosäule als Abschirmung wie das Bild oben zeigt.

Durchführung des Versuches



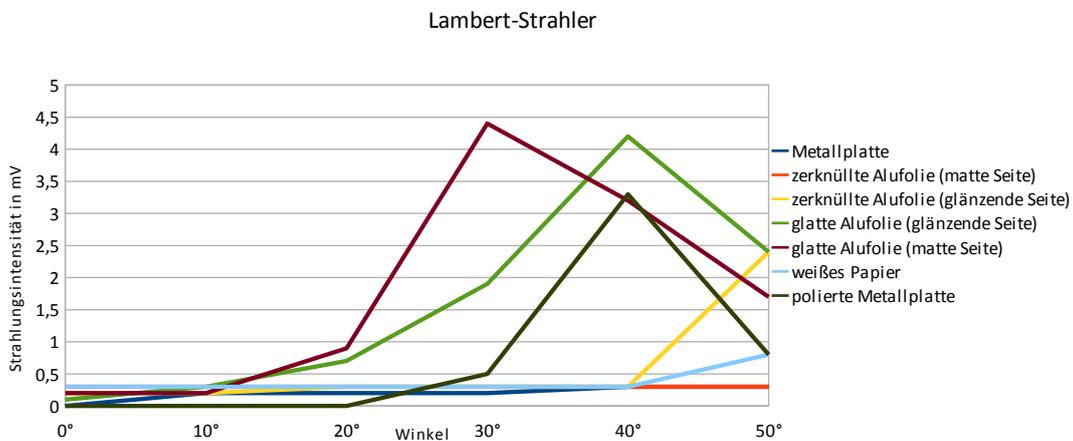
1. Nehmt die Metallplatte (s. o.) und spannt sie wie oben bereits beschrieben in das Stativ ein.
2. Schaltet die Infrarot-Lampe an.
3. Notiert euch die Strahlungsintensität, die der Messverstärker anzeigt, in der dafür vorgesehenen Tabelle auf der nächsten Seite.
4. Dreht die Lampe anschließend vorsichtig (!) mit der Drehmuffe in 10° -Schritten. Der Abstand zwischen Testobjekt und Lampe sollte dabei gleich bleiben.
5. Tragt jeweils die gemessene Spannung in die Tabelle ein.
Andere Materialien könnt ihr testen, indem ihr beispielsweise die Metallplatte nehmt und diese mit Alufolie bespannt.
6. Erstellt jeweils ein Diagramm, bei dem die Spannung der Thermosäule gegen den Winkel aufgetragen ist.
7. Was stellt ihr fest? - Welches Material ist als Lambert-Strahler gut geeignet?



Information für Lehrer

Das Diagramm können die Schüler auch mit einer Tabellenkalkulationssoftware erstellen.

Beispielauswertung



Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass weißes Papier, die Metallplatte und die matte Seite zerknüllter Alufolie als Lambert-Strahler am besten geeignet sind. Sie streuen die Infrarot-Strahlung aus jedem Einfallswinkel gleich stark, so wie ein Lambert-Strahler es tun sollte.

Dass der letzte Wert höher ist als die Vorherigen liegt daran, dass die Lampe trotz der Abschirmung schon ziemlich direkt in die Thermosäule hinein strahlt.

Die glatte Alufolie und die polierte Metallplatte wirken wie Spiegel, welche die Strahlung nur reflektieren. Es gilt: Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel. Somit sieht man im Diagramm im mittleren Bereich einen Peak. Die unterschiedliche Lage der Peaks führt daher, dass die Testobjekte nicht exakt im selben Winkel eingespannt waren.