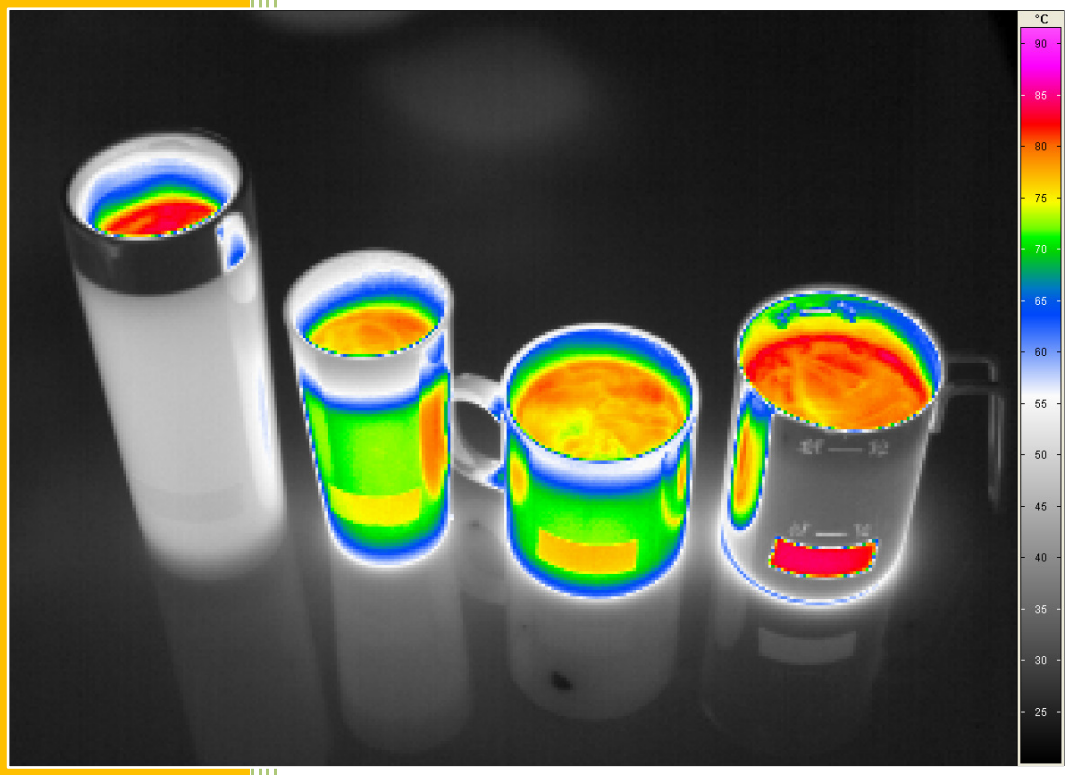
Freie Universität Berlin

Didaktik der Physik

Kontakt:
Helmuth Grötzebauch
E-Mail: h.groetz@fu-berlin.de
Version vom 16.10.2020

Skript W

Versuche zur Thermodynamik



Seminar zum Vertiefungsmodul

Fachdidaktik Physik:

„Physik lernen im Schülerlabor

PhysLab – Praxisseminar

Wärmeübertragung“

Sommersemester

Dieses Skript ist für den internen Gebrauch in der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik gedacht und dient als Vor- und Nachbereitungsmaterial für die Lehre und weiterer Veranstaltungen. Es ist unvollständig und kann Fehler enthalten. Für die Folgen, die aus der Benutzung des Skriptes entstehen können, übernehmen wir in keinem Fall die Haftung.

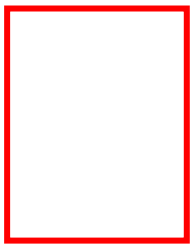
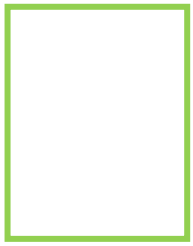
Helmuth Grötzebauch

Inhalt

Erläuterungen zu den Versuchen 4
Gemäldeuntersuchung mit der Reflexionsmethode 5
Gemäldeuntersuchung mit der Transmissionsmethode 6
Fotoapparat gegen Wärmebildkamera 7
Infrarot-Diode 8
Wärmeabstrahlung unterschiedlicher Tassen 9
Kamera gegen Temperaturfühler 10
Wärmeabstrahlung verschiedener Oberflächen 11
Unterschiedliche Temperaturen 12
Verschiedene Gegenstände 13
Reflexion 14
Wärmereflexion 15
Rettungsdecke 16
Emissionsgrad einer metallisierten Folie 17
Bügeleisen 18
T-Shirts 19
Im Dunkeln sehen 20
Kerze 21
Leslie-Würfel 22
Radiometer 23
Taschenwärmer 24
Aufteilung des Spektrums 25
Glühender Draht 26
Heizstrahler mit schwarzer und weißer Oberfläche 27
Infrarot-Thermometer 28
Bewegungsmelder mit Wärmesensor 29
Thermohaus 30
Transmissionsunterschiede 31
Folie im Strahlengang 32
Kleidung 33
Isolierung 34
Becherglas 35
Wasserkühlung 36
Wärmeregulierung des menschlichen Körpers 37
Verschiedene Stäbe im Wasserbad 38
Kältespray 39
Wärmeleitung in Metall 40
Subjektive Wärmeleitung 41

Konvektion im Becherglas 42
Modell einer Zentralheizung 43
Konvektion in Rechteckröhre 44
Konvektion 45
Wärmeleitfähigkeit von Wasser 46
Wärmepumpe 47
Widerstände 48
Glühlampe gegen Energiesparlampe 49
Peltier-Element 50
Längenausdehnung im Draht 51
Thermoelement 52
Thermo-Elektromagnet 53
Strom aus Wärme erzeugen 54
Reibung 55
Wärmeausdehnung 56
Thermische Ausdehnung von Luft 57
Bimetallschalter 58
Volumenausdehnung verschiedener Flüssigkeiten 59
Übersicht über die vorgestellten Versuche 60

Dieses Heft ist nach der Verwendung der Kameras sortiert. Zu erkennen ist das stets an dem farbigen Rahmen, der die Seite einrahmt. Die Rahmen haben folgende Bedeutung:

			
Rot: Diese Versuche werden mit der USB-Kamera bzw. dem Fotoapparat durchgeführt.	Orange: Für die Versuche benötigt man die InfraTec-Kamera.	Gelb: Hier kann neben der InfraTec-Kamera auch die InfraTec verwendet werden.	Grün: Für diese Versuche ist keine Kamera nötig.

Das in den einzelnen Versuchen behandelte Thema ist oben links auf jeder Seite in einem Kästchen angegeben. Die Versuche teilen sich in folgende Themenbereiche auf.

Sortierung im Skript:

NI	Nahe Infrarotstrahlung
WS	Wärmestrahlung
WD	Wärmedurchgang
WL	Wärmeleitung
WSÖ	Wärmeströmung
WE	Wärme aus Elektrizität
WR	Wärme durch Reibung
WA	Wärmeausdehnung

Aus dem Rahmenlehrplan der Doppeljahrgangsstufe 7/8:

- Brown‘sche Bewegung
- Längen- und Volumenänderung bei Temperaturänderung
- Beachtung des Wärmeverhaltens bei der Konstruktion von Bauwerken
- Wärmeabhängigkeit des elektrischen Stroms
- Aggregatzustandsänderung
- Experimente zum Wärmetransport
- Wärmeleitfähigkeit verschiedener Körper
- Konvektion
- Wärmeleitung und Wärmeströmung
- Wärmestrahlung
- Wärmeversorgung im Haus der Zukunft
- Wärmehaushalt bei Tieren

Gemäldeuntersuchung mit der Reflexionsmethode

Fragestellung

Wie kann ein Originalgemälde von einer Fälschung unterschieden werden?

Material

- 2 Bilder mit Tuschkastenfarben
- USB-Kamera ohne inneren IR-Filter
- IR-Filter Wratten 87 oder Diapositiv (IR-Durchlass)
- UV-Filter(UV blockiert)
- Farbkarte
- Filterhalter
- Glühlampe (60 W)
- Optische Bank
- 3 Reiter
- Stativmaterial
- Notebook mit Software für die USB-Kamera

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

Durchführung

Es sollen das Original und die Fälschung eines Bildes untersucht werden. Als Referenz dient eine Farbkarte, auf der die Originalfarben aufgetragen sind. In den Strahlengang zur USB-Kamera ist ein Infrarot-Durchlassfilter eingefügt. Beide Bilder werden nacheinander am Stativmaterial aufgehängt, mit einer 60 W Glühlampe von vorne bestrahlt und mit der Farbkarte verglichen.
USB-Kamera für den Infrarotbereich erneut scharf stellen.

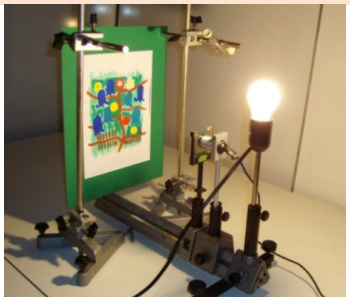


Abb.: Optischer Aufbau bei Auflicht

Ergebnisse und Auswertung

Es wird eine USB-Kamera verwendet, die im Infrarotbereich bis ca. 1,1 µm empfindlich ist.
Ein Pigment reagiert auf sichtbares Licht anders als auf infrarotes Licht, und auch die verschiedenen Farbpigmente verhalten sich unterschiedlich.
Bei der Reflexionsmethode wird das Licht von den Pigmenten reflektiert. Der nicht reflektierte Teil wird absorbiert bzw. geht durch das Bild hindurch (das Bild ist an diesen Stellen und für dieses Licht transparent).

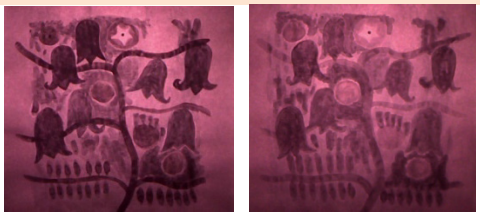


Abb.: Original und Fälschung bei Auflicht

Anmerkungen

Das Bild kann analog zum vorherigen Versuch auch von hinten mit einer 60 W Glühlampe durchleuchtet werden (Achtung Brandgefahr, wenn sich die Glühlampe zu dicht am Bild befindet). Auch hier kann die Transparenz der Farben wieder mit der Farbtafel verglichen werden.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 10 min Durchführung: 20 min Auswertung: 10 min	USB-Kamera modifiziert	Verfahren wird in der Gemäldeanalyse angewendet.

Gemäldeuntersuchung mit der Transmissionsmethode

Fragestellung

Wie lassen sich bei einem Gemälde Unterzeichnungen aus Kohlenstoff sichtbar machen?

Material

- Bilder mit Unterzeichnung und Tuschkastenfarben (Wasserbasis)
- USB-Kamera ohne inneren IR-Filter
- IR-Filter Wratten 87 oder Diapositiv (IR-Durchlassfilter)
- Filterhalter
- Glühlampe (60 W)
- Optische Bank
- 3 Reiter
- Stativmaterial
- Notebook mit Software für die USB-Kamera

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

Durchführung

Es wird eine USB Kamera verwendet, die im Infrarotbereich bis ca. 1,1 µm empfindlich ist.
Ein Pigment reagiert auf sichtbares Licht anders als auf infrarotes Licht, und auch die verschiedenen Farbpigmente verhalten sich unterschiedlich.

Bei dem Bild wird wie bei der Reflexionsmethode mit Durchlicht die Transmission des Lichts untersucht.

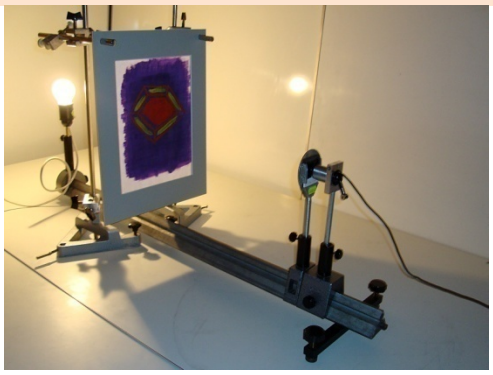


Abb.: Optischer Aufbau bei Durchlicht

Ergebnisse und Auswertung

Bei der Transmissionsmethode lassen die transparenten Pigmente die Strahlung durch, während die weniger transparenten Pigmente einen Teil der Strahlung absorbieren. Die Stellen erscheinen auf dem Kamerabild im zweiten Fall dunkler. Die Unterzeichnung besteht aus Kohlenstoff und ist in der Aufnahme gut zu sehen.

Abb.: Bild mit sichtbar gemachter Unterzeichnung

Anmerkungen

Brandgefahr, wenn sich die Lampe zu dicht hinter dem Bild befindet.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 10 min Durchführung: 20 min Auswertung: 10 min	USB-Kamera modifiziert	Verfahren wird in der Gemäldeanalyse angewendet.

Fotoapparat gegen Wärmebildkamera

Fragestellung

Für welche Wellenlängen sind die einzelnen Kameras empfindlich?

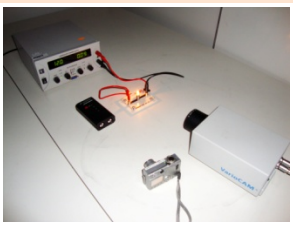
Material

- Fernbedienung
- Fotohandys
- Fotoapparat
- InfraTec
- Zubehör für Kamera
- Glühlampe (12 V, 0,1 A)
- Spannungsquelle

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

Durchführung

Wärmebildkamera und Fotoapparat anschalten. Die Glühlampe (12 V, 0,1 A) über das Netzgerät zum Leuchten bringen. Die Infrarotfernbedienung betätigen. Beide Kamerabilder vergleichen.



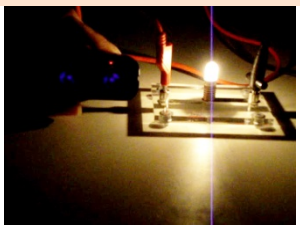


Abb. : Messaufbau, Fotoapparat und Wärmebildkamera
Abb. rechts: Infrarotdioden (links) und Glühlampe (rechts)

Ergebnisse und Auswertung

Die Empfindlichkeit der CCD-Chips von Kameras basiert auf Silizium. Silizium weist eine Strahlungsempfindlichkeit bis ca. 1,1µm auf. Auch wenn im Allgemeinen ein Infrarotfilter vor den Chip eingebaut wird, ist er im Infrarotbereich noch leicht empfindlich – was mit der Kamera sichtbar gemacht werden kann. Anders verhält es sich bei der Wärmebildkamera: Sie besitzt ein Mikrobolometer zur Messung der Wärmestrahlung und arbeitet zwischen 8 und 13 µm. Folglich kann sie den Wellenlängenbereich nicht erfassen.

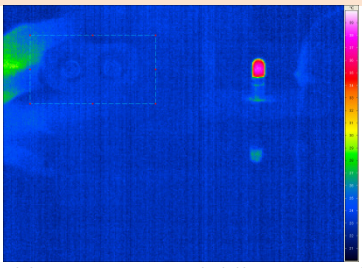


Abb.: Die Wärmebildkamera erkennt nur die Glühlampe.

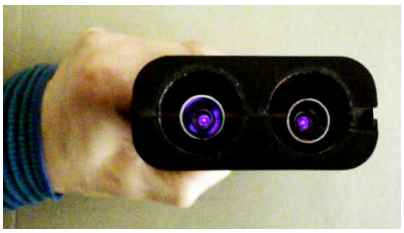


Abb: Infrarotdioden im Betrieb (mit dem Fotoapparat aufgenommen)

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	Fotoapparat InfraTec Flir	Fotoapparate sehen mehr als das menschliche Auge.

Infrarot-Diode

Fragestellung

Können ein Fotoapparat oder eine Handykamera Infrarotstrahlung erkennen?

Material

- Fernbedienung (Infrarot)
- Fotoapparat
- Fotohandys der Schüler
- Spiegel
- Matte Scheibe
- Glasscheibe
- Overheadfolie

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

Durchführung

Eine Infrarot-Fernbedienung sendet im Nahen Infrarotbereich (Wellenlänge ca. 1µm). Sendetaste betätigen. Fotoapparat oder Kamera des Handys einschalten und auf die Sendedioden ausrichten. Danach einen Spiegel benutzten, um die Strahlung zum Fotoapparat zu lenken. Anschließend Glas, Acrylglas und Overheadfolie in den Strahlengang halten und Ergebnisse beobachten. Mit Messungen der Wärmebildkamera vergleichen.

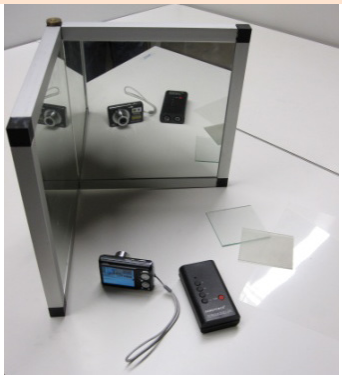


Abb.: Infrarot-Fernbedienung, Fotoapparat und Reflexionsspiegel

Ergebnisse und Auswertung

Die Empfindlichkeit der CCD-Chips von Kameras basiert auf Silizium. Silizium weist eine Strahlungsempfindlichkeit bis ca. 1,1µm auf. Auch wenn im Allgemeinen ein Infrarotfilter vor den Chip eingebaut wird, bleibt ein Restbereich von Empfindlichkeit im infraroten Spektrum übrig und kann mit der Kamera sichtbar gemacht werden.

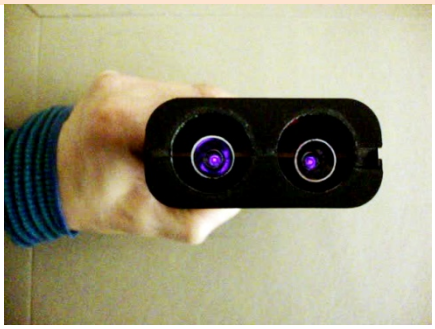


Abb.: IR-Sendedioden im Nahen Infrarotbereich

Anmerkungen

Verschiedene transparente Materialien lassen die Strahlung nur teilweise, gestreut oder fast gar nicht passieren. Dies hängt mit der Absorptionsfähigkeit verschiedener Materialien zusammen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	Fotoapparat USB-Kamera	Signalübertragung von Fernbedienungen

Wärmeabstrahlung unterschiedlicher Tassen

Fragestellung

In welcher Tasse bleibt das Wasser am längsten warm?

Material

- Flir Wärmebildkamera
- Wasserkocher
- Notebook mit Software für Kamera
- Isolierbecher
- Glas
- Porzellantasse
- Stahlbecher
- Klebeband

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

Durchführung

Auf einem Isolierbecher, einem Glas, einer Porzellantasse und einem Stahlbecher wird jeweils ein kleiner Streifen Emissionsklebeband (ε=0,95) befestigt und zur Kamera hin ausgerichtet. Danach werden alle Gefäße mit heißem Wasser gefüllt. Mit der Wärmebildkamera wird eine Aufnahme von der vier Gefäße gemacht, die Messwerte werden miteinander verglichen.
Verbrühungsgefahr!

Abb.: Isolierbecher, Glas, Porzellantasse und Stahlbecher

Ergebnisse und Auswertung

Um die Messergebnisse miteinander vergleichen zu können, muss der Emissionsgrad auf der Messfläche gleich sein. Nur dann sind Rückschlüsse auf das Transmissionsverhalten der einzelnen Materialien möglich. Raue Oberflächen emittieren Wärmestrahlung besser als glatte. Die Flüssigkeitsoberfläche im Stahlbecher erscheint wärmer. Das liegt daran, dass die Tassenwandung die Wärme gut leitet und dem Oberflächenwasser von den Seitenwänden her zusätzlich Wärme zugeführt wird. Beim Isolierbecher (Luft-Isolation) ist der Wärmeverlust über die Seitenwände deutlich geringer; somit kann auch die Wärme hauptsächlich nur zur Wasseroberfläche abgegeben werden. Dies führt zu einem heißeren Oberflächenwasser im Vergleich zum Glas und zum Porzellan.

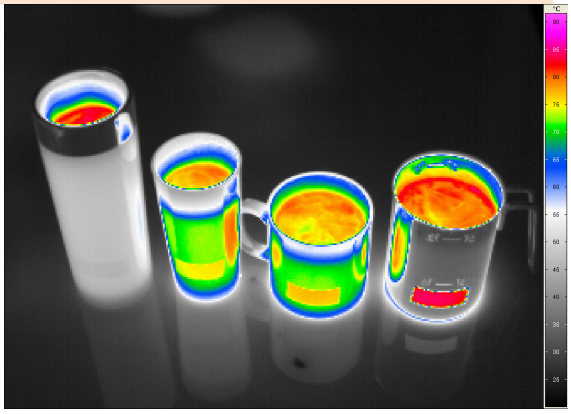


Abb.: Vergleich der Wärmestrahlung unterschiedlicher Materialien

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Isolierbecher für Getränke

Kamera gegen Temperaturfühler

Fragestellung

Welche Temperatur haben die Becher?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ. …)
- Stahlbecher
- Porzellantasse
- Isolierbecher
- Glas
- Wasserkocher
- Temperaturfühler

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

Durchführung

Ein Isolierbecher, ein Glas, eine Porzellantasse und ein Stahlbecher werden mit heißem Wasser gefüllt. Mit der Wärmebildkamera wird eine Aufnahme von den vier Bechern gemacht. Die Messwerte werden mit denen des Temperaturmessinstrumentes verglichen.
Achtung Verbrühungsgefahr!

Abb.: Gefäße von links: Isolierbecher, Glas, Porzellan und Stahl

Ergebnisse und Auswertung

Um die Messergebnisse miteinander vergleichen zu können, muss der Emissionsgrad auf der Messfläche gleich sein. Nur dann sind Rückschlüsse auf das Transmissionsverhalten der einzelnen Materialien möglich. Raue Oberflächen emittieren Wärmestrahlung besser als blanke. Im Stahlbecher ist die Flüssigkeitsoberfläche wärmer, da die Tassenwandung die Wärme leitet und dem Oberflächenwasser zusätzlich von den Seitenwänden her Wärme zugeführt wird. Beim Isolierbecher (Luft-Isolation) ist der Wärmeverlust über die Seitenwände deutlich geringer und somit kann auch die Wärme hauptsächlich nur zur Wasseroberfläche abgegeben werden. Dies führt zu einem heißeren Oberflächenwasser im Vergleich zum Wasser im Glas und in der Porzellantasse. Messungen mit dem Temperaturfühler geben die tatsächliche Temperatur in der Flüssigkeit wieder – abzüglich der Toleranz.

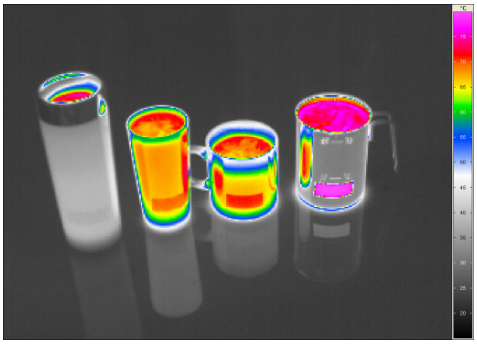


Abb.: Vergleich der Wärmestrahlung unterschiedlicher Materialien

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Getränke bleiben im Isolierbecher lange warm.

Wärmeabstrahlung verschiedener Oberflächen

Fragestellung

Ist die Wärmestrahlung nur von der Temperatur abhängig?

Material

- InfraTec Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Unterschiedlich lackierte Becher
- Wasserkocher

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

Durchführung

Ein weißer, ein gelber und ein schwarzer Becher werden zusammen mit einem durchsichtigen Becher („Original“) und einem mit Aluminiumfolie beklebten Becher auf einen Tisch gestellt. Es wird heißes Wasser in die Becher gefüllt und anschließend die Wärmestrahlung mit der Thermokamera beobachtet.

Abb.: Unterschiedlich bemalte/beklebte Plastikbecher

Ergebnisse und Auswertung

Die Wärmebildkamera zeigt für den durchsichtigen und die lackierten Becher die gleiche Temperatur an. Die farblich sehr unterschiedlich aussehenden Oberflächen der Becher sind im infraroten Bereich sehr ähnlich beschaffen, so dass es zu keinen wesentlichen Unterschieden in der Wärmeabstrahlung kommt. Lediglich der mit Aluminiumfolie beklebte Becher zeigt eine deutlich niedrigere Wärmeabstrahlung.

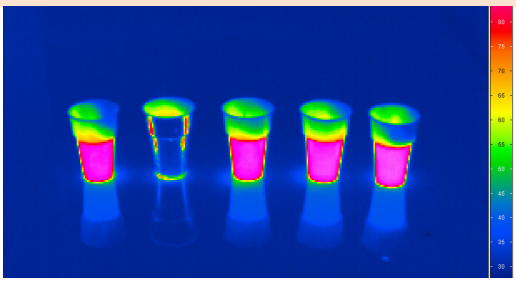


Abb.: Thermobild der Plastikbecher

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Welcher Becher hält das Wasser am längsten warm?

Unterschiedliche Temperaturen

Fragestellung

Wie werden unterschiedliche Temperaturen im Wärmebild dargestellt?

Material

- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Temperaturfühler
- 4 Kunststoffbecher
- 2 Bechergläser
- Eiswürfel
- Wasserkocher

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

Durchführung

Ein Becherglas wird mit kochendem Wasser gefüllt, das andere mit einer Mischung aus Wasser und Eiswürfeln. Durch das Mischen der beiden können unterschiedliche Temperaturen erzeugt werden. Die Kunststoffbecher werden mit Wasser gefüllt, wobei möglichst große Temperaturunterschiede erreicht werden sollten. Die einzelnen Wassertemperaturen werden mit einem Temperaturfühler bestimmt. Mit der Wärmebildkamera wird die Wärmestrahlung untersucht.

Abb.: Kunststoffbecher mit Wasser verschiedener Temperatur

Ergebnisse und Auswertung

Je höher die Temperatur des Bechers ist, desto stärker ist seine Wärmestrahlung. Die mit dem Messfühler gemessene Temperatur stimmt mit den Ergebnissen der Wärmebildkamera überein, wenn an der Kamera ein Emissionsgrad von e = 0,95 eingestellt wird. Ist die Temperatur kälter als die Umgebungstemperatur, z. B. im Becher mit Eiswasser, nimmt der Becher Wärmestrahlung von der Umgebung auf. Auch die Kamera sendet zum Becher mehr Wärmestrahlung, als sie vom Becher erhält.

Abb.: Thermobild von Bechern, die mit Wasser unterschiedlicher Temperatur gefüllt sind.

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

Verschiedene Gegenstände

Fragestellung

Welche Gegenstände kann die Wärmebildkamera sehen?

Material

- InfraTec Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Hand
- Wasserkocher
- Holzklotz
- Andere Gegenstände

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

Durchführung

Die Wärmebildkamera wird auf einen Wasserkocher mit heißem Wasser, einen Holzklotz und eine Hand gerichtet. Anschließend wird das Bild ausgewertet.

Abb.: Hand, Holzklotz und Wasserkocher

Ergebnisse und Auswertung

Der Holzklotz hat die gleiche Temperatur wie der Tisch und ist kaum zu erkennen. Man „sieht“ ihn lediglich wegen des Emissionsfaktors seiner Oberfläche, der von der dem der Tischoberfläche abweicht. Außerdem sind leichte Reflexionen der Umgebung zu erkennen. Die Hand hebt sich dagegen klar vom Untergrund ab. Am deutlichsten ist der Wasserkocher zu sehen. Je größer der Temperaturunterschied zur Umgebung ist, desto besser sind die Gegenstände im Thermobild zu erkennen.

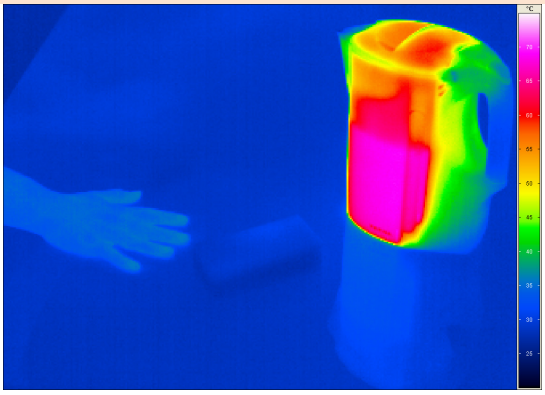


Abb. 20: Hand, Holzklotz und Wasserkocher im Thermobild

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Wärmeisolierung am Haus

Reflexion

Fragestellung

Kann eine Kupferplatte Wärmestrahlung reflektieren?

Material

- InfraTec-Kamera mit Zubehör
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Schwarzer Strahler (Inv. Nr. 01512)
- Kupferplatte
- Glühlampe (60 W)
- Stativmaterial

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

Durchführung

Die Kupferplatte wird mit Stangenmaterial fixiert. Der schwarze Strahler und die Wärmebildkamera werden beide im Winkel von ca. 45° und 50 cm von der Kupferplatte entfernt positioniert. Der schwarze Strahler wird auf eine Temperatur von 120 °C eingestellt (Vorlauf: 20 min).

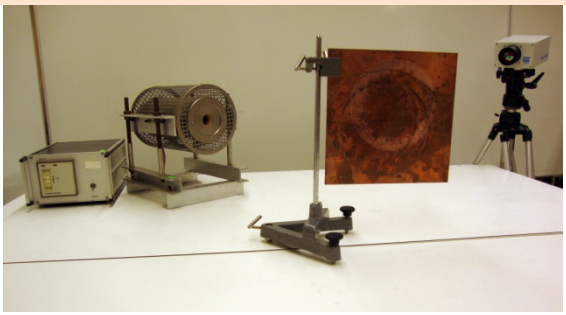


Abb.: Schwarzer Strahler mit Wärmebildkamera und der rückseitigen Reflexionsfläche der Kupferplatte.

Ergebnisse und Auswertung

Nachdem der schwarze Strahler eine konstante Temperatur erreicht hat, kann seine Temperatur mit der Wärmebildkamera direkt bestimmt werden. Anschließend wird der Einfluss des Reflexionsgrades und der Streuung / Absorption der Kupferplatte untersucht.
Die Kupferplatte kann auch gegen eine Platte aus Messing oder Aluminium ausgetauscht werden.

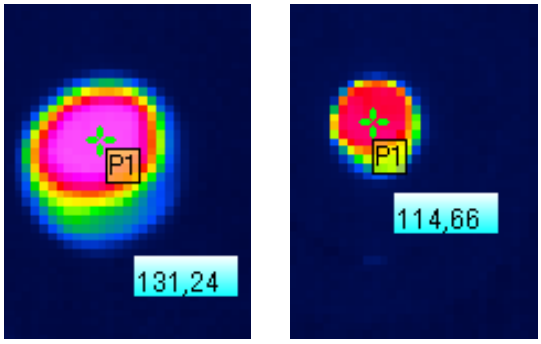


Abb.: Messung des schwarzen Strahlers mit Emissionsfaktor 1, links: direkte Messung des schwarzen Strahlers, rechts: Messung der Spiegelung an der Kupferplatte

Anmerkungen

Wahlweise kann bei dieser Untersuchung der Winkel von Kamera und schwarzem Strahler variiert werden, um eventuelle Winkelabhängigkeiten der Reflexion zu untersuchen. Die Position von Objekt bzw. Kamera haben im Allgemeinen keinen nennenswerten Einfluss, da es sich auch bei anderen Strahlern (graue Strahler) oft um diffuse Strahler handelt, die ihre Strahlung gleichmäßig in alle Richtungen abgeben. Verändert sich der Messwinkel zum Objekt, ändert sich auch die Strahlungsdichte proportional zur sichtbaren Abstrahlungsfläche, so dass der Messwert gleich bleibt. Oxidation der Kupferplatte beachten!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	

Wärmereflexion

Fragestellung

Auf welchen Oberflächen spiegelt sich Wärmestrahlung?

Material

- Kupferplatte (matt) – fakultativ
- Notebook mit Software für Kamera

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

- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Becherglas
- Wasserkocher

Durchführung

Wärmebildkamera einschalten. Mit dem Wasserkocher Wasser zum Kochen bringen und in das Becherglas einfüllen.

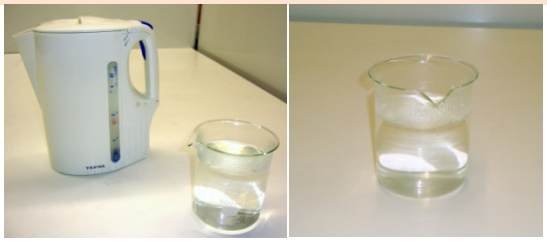


Abb. links: Wasserkocher mit Becherglas, rechts: das Becherglas spiegelt sich im Bereich des sichtbaren Lichts nicht auf der Tischoberfläche.

Ergebnisse und Auswertung

Je nach Untergrund kann Wärmestrahlung unterschiedlich stark reflektiert werden. In diesem Fall ist die Tischoberfläche matt und absorbiert einen nennenswerten Teil der Strahlung. Die Form des Becherglases ist trotzdem gut zu erkennen. Andere Materialien, wie z. B. mattierte Kupferplatten, spiegeln die Wärme ebenfalls gut und weisen wesentlich geringere Absorptionsgrade auf.

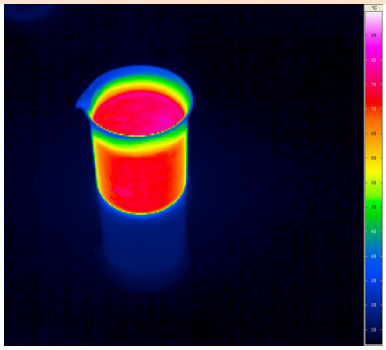


Abb.: Auf der Tischoberfläche ist eine Wärmereflexion zu erkennen

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	

Rettungsdecke

Fragestellung

Welche Seite der Rettungsdecke sollte zum Verletzten hin zeigen?

Material

- InfraTec Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Rettungsdecke
- Becherglas
- Wasserkocher

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

Durchführung

Die Rettungsdecke wird ausgebreitet, und in das Becherglas heißes Wasser eingefüllt. Das Becherglas wird einmal auf die silberne Seite und einmal auf die goldene Seite gestellt. In beiden Fällen wird die Reflexion mit der Thermokamera angeschaut.

Abb.: Becherglas auf der Silber Seite der Rettungsdecke

Ergebnisse und Auswertung

Bei der silbernen Seite sind die Reflexionen viel deutlicher zu erkennen. Diese Seite reflektiert die Wärmestrahlung also besser. Besteht die Gefahr des Unterkühlens, sollte diese Seite zu dem Verletzten hin zeigen, um die eigene Körperstrahlung zurückzu reflektieren.

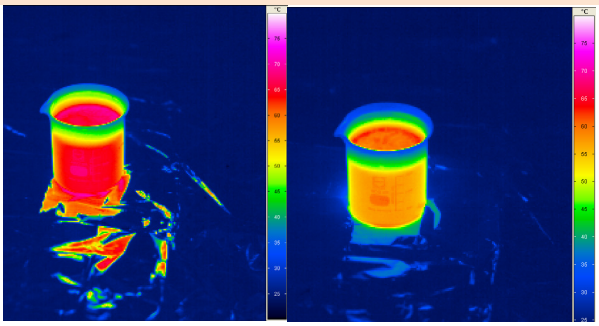


Abb.: Becherglas mit heißem Wasser, links auf der silbernen Seite der Rettungsdecke und rechts auf der goldenen Seite

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Rettungsdecke im Erste-Hilfe-Koffer

Emissionsgrad einer metallisierten Folie

Fragestellung

Welchen Emissionsfaktor weist die aluminiumbedampfte und welchen die goldfarbene Seite auf?

Material

- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für Kamera-InfraTec
- Temperaturfühler
- 2 Bananenkabel
- Becherglas
- Peltier-Element
- Rettungsdecke
- 2 Spanngummis
- Netzteil

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

Durchführung

Ein mit kochendem Wasser gefülltes Becherglas wird mit einer metallisierten Folie abgedeckt, einmal mit der silbernen und einmal mit der goldenen Seite. Die Temperatur der Folie wird mit der Wärmebildkamera untersucht. Die Emissionsgrade beider Folienseiten sind unbekannt und müssen in einem Vorversuch ermittelt werden.
Im Vorversuch wird mit Hilfe eines Peltier-Elements der Emissionsgrad der Metallfolie untersucht. Dazu wird das Peltier-Element umwickelt, so dass einmal die silberne und einmal die goldene Seite außen ist.
Das Peltier-Element wird auf ca. 4,6 V und 1 A eingestellt. Nach einer Wartezeit von 2 min wird mit dem Temperaturfühler die Temperatur der mit dem Peltier-Element erwärmten Folienseite gemessen. Mit der Wärmebildkamera werden die Messungen wiederholt. Mit den auf diese Weise ermittelten unterschiedlichen Emissionsfaktoren wird die Anzeige der Kamera (auf die Temperatur des Messfühlers) kalibriert.

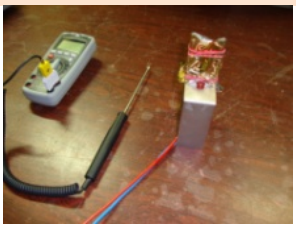


Abb.: Umhülltes Peltier-Element mit metallisierter Folie

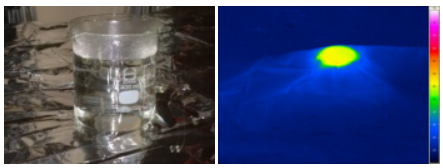


Abb. links: Mit kochendem Wasser gefülltes Becherglas; rechts: Becherglas ist mit metallisierter Folie abgedeckt.

Ergebnisse und Auswertung

Liegt die Folie beim Peltier-Element nicht an der Peltier-Oberfläche an, verhindert der Wärmewiderstand der Luft, dass von der Folie genügend Energie aufgenommen wird. Die Fläche sieht auf dem Wärmebild kühler aus. Die Ausbreitung von Wärme durch Wärmeleitung innerhalb der Folie ist wegen der guten Kontaktstellen zur Wärmequelle aber der schlecht wärmeleitende Polyesterfolie (auf die das Metall aufgedampft ist) gering. Im Allgemeinen wird mit einem Emissionsgrad von e = 0,95 ein gutes Ergebnis erzielt, doch Metalle weisen eine teilweise erhebliche Abweichung von diesem Wert auf. Für die Folie ergeben sich bei einer Folientemperatur von T = 53 °C folgende Messwerte:
$e_{silber} = 0{,}3$; $e_{Gold} = 0{,}85$.

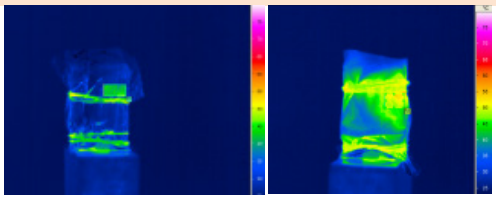


Abb.: Links die silberne und rechts die goldene Seite der Metallfolie im Thermobild

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 10 min Durchführung: 20 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Bestimmung des Emissionsgrades verschiedener Materialien

Bügeleisen

Fragestellung

Wie heiß wird ein Bügeleisen?

Material

- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ. …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- Temperaturfühler
- Bügeleisen
-

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

Durchführung

Das Bügeleisen wir angeschlossen und angeschaltet. Wenn es heiß geworden ist, wird es mit der Wärmebildkamera betrachtet.
Zur Überprüfung des Messwertes wird die Temperatur anschließend mit einem Temperaturfühler bestimmt.

Abb.: Bügeleisen und Temperaturfühler

Ergebnisse und Auswertung

Das Wärmebild zeigt für das Bügeleisen keine höhere Temperatur als die Umgebung an. Der Streifen ist lediglich eine Reflexion aus der Umgebung. Die glatte Oberfläche des Bügeleisens bewirkt, dass die Wärmestrahlung sehr gering ist. Die Kamera kann die Temperatur des Bügeleisens nicht sehen. Mit dem Temperaturfühler ist jedoch eine genaue Messung möglich.

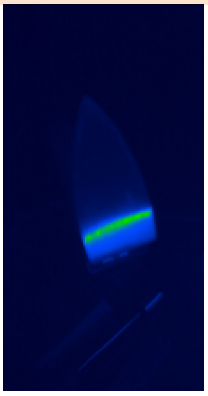


Abb.: Thermobild eines heißen Bügeleisens

Anmerkungen

Achtung, das Bügeleisen wird sehr heiß und darf nicht berührt werden!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 10 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Bestimmung des Emissionsgrades verschiedener Materialien

T-Shirts

Fragestellung

Wärmt sich das schwarze oder das weiße T-Shirt schneller auf? Wie wirkt sich Feuchtigkeit auf die Wärmeabstrahlung des T-Shirts aus?

Material

- Schwarzes T-Shirt (Baumwolle)
- Weißes T-Shirt (Baumwolle)
- Halogenstrahler (1000 W)
- 2 Wäscheklammern
- InfraTec-Kamera mit Zubehör
- Optische Bank
- 2 Reiter für die optische Bank
- Projektionsschirm
- 2 Klebepunkte

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

Durchführung

Beide T-Shirts werden nebeneinander mit Wäscheklammern auf einen Projektionsschirm gespannt. Zwei Messpunkte (Klebepunkte) werden symmetrisch zum jeweils anderen. T-Shirt aufgeklebt. Der Schirm und ein Halogenstrahler werden auf der optischen Bank in einem Abstand von 50 cm befestigt. Die T-Shirts werden etwa 3 min lang mit dem Halogenstrahler bestrahlt. Der Vorgang wird mit der Kamera beobachtet.
Danach wird eine mit Wasser befeuchte Hand auf das T-Shirt gehalten.

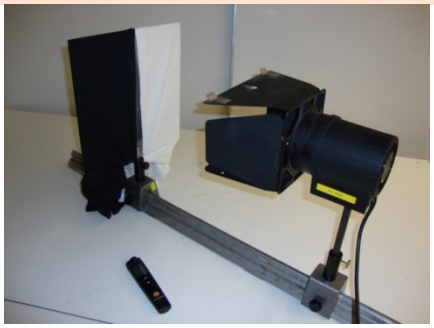


Abb.: Aufbau der T-Shirts und des Halogenstrahlers auf der optischen Bank

Ergebnisse und Auswertung

Nach 3 min wird folgende Temperatur bestimmt: schwarzes T-Shirt: 43 °C, weißes T-Shirt: 24 °C. Schwarze Oberflächen absorbieren mehr sichtbare Strahlung als weiße Oberflächen und geben infolgedessen mehr Strahlung im Infrarotbereich ab. Dadurch steigt die Temperatur an. Im Sommer trägt man lieber ein weißes T-Shirt, um möglichst viel Sonnenstrahlung zu reflektieren. Im Winter dagegen eignet sich schwarze Kleidung, die bei Sonnenschein mehr Strahlung absorbiert. Das Abstrahlverhalten der beiden T-Shirts ist dagegen gleich, weil sie sich im infraroten Bereich nicht unterscheiden.
Wasser auf dem T-Shirt führt zu Verdunstungswärme und lässt das T-Shirt an diesen Stellen schneller abkühlen.

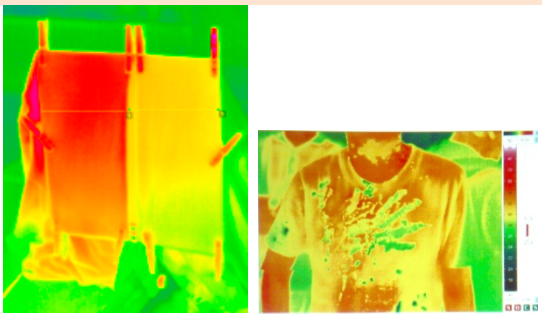


Abb. links: schwarzes (links) und weißes T-Shirt (rechts); rechts: ein feuchter Händeabdruck auf einem T-Shirt

Anmerkungen

Emission + Reflexion + Transmission = 1; Absorption = Emission

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Auswahl der Kleiderfarbe im Sommer

Im Dunkeln sehen

Fragestellung

Sieht die Wärmebildkamera auch im Dunkeln?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec
- Verdunkelbarer Raum

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

Durchführung

Kamera auf Kopf und Oberkörper der Versuchsperson ausrichten. Raum verdunkeln. Körper frontal zur Kamera ausrichten und nicht bewegen (DidCAM). Messung mit der Wärmebildkamera starten.

Ergebnisse und Auswertung

Die Wellenlängen der Körperstrahlung liegen bei ca. 8-13 µm. Nur wenn die Kamera in der Lage ist, diese Wellenlängen zu registrieren, kann ein echtes Wärmebild entstehen.

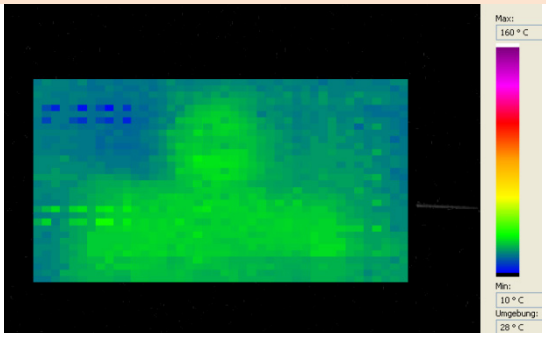


Abb.: Wärmebildaufnahme eines Menschen in einem dunklen Raum. Kopf und Schultern sind zu erkennen.

Anmerkungen

Die DidCAM ist nicht mehr existent. Verwenden Sie eine andere Wärmebildkamera.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	~~DidCAM~~ InfraTec Flir	Wärmebildkameras als Überwachungskamera

Kerze

Fragestellung

Welche Temperatur hat die Flamme einer Kerze?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec
- Kerze
- Temperaturfühler
- Windschutz

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

Durchführung

Windschutz für die Kerze aufbauen. Höhe des Laborboys einstellen. Kerze entzünden und Messung starten. Die Messung mit dem Temperaturfühler kontrollieren.

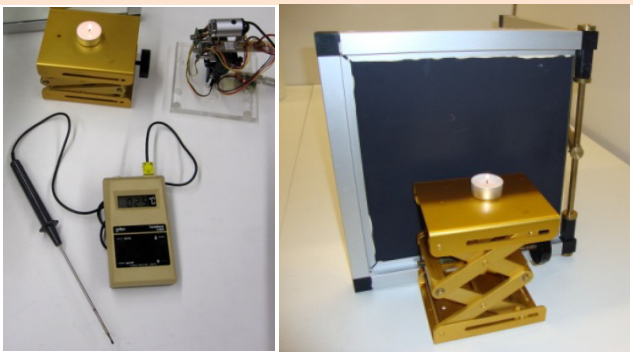


Abb. links: Kerze und Temperaturmessfühler, rechts: Kerze mit Windschutz

Ergebnisse und Auswertung

Es können nur quantitative Aussagen zur Flammentemperatur getroffen werden, da von der Flamme weder die Dichte, noch Reflexion, Emissionsgrad und Gasteilchenüberlagerung bekannt sind bzw. diese sich ständig ändern. Zur korrekten Bestimmung werden für gasförmige Medien Gassensoren verwendet, die die Farbtemperatur der Flamme messen. Mit dem Temperaturfühler kann die tatsächliche Temperatur gemessen werden, da das Thermoelement des Messfühlers direkt erwärmt wird.

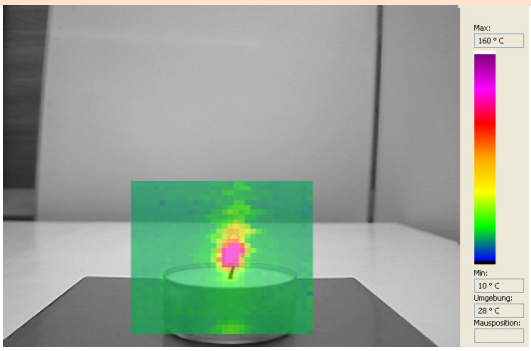


Abb.: Messung der Kerzentemperatur mit der DidCAM

Anmerkungen

Verbrennungsgefahr! Vorsicht bei langen Haaren!

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

Leslie-Würfel

Fragestellung

Welche Oberfläche strahlt mehr Wärme ab?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- Flir Wärmebildkamera
- Trichter
- Leslie-Würfel (Inv.-Nr. 01856)
- Wasserkocher
- Wasser
- Laborboy

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

Durchführung

Laborboy auf die richtige Höhe einstellen, so dass die schwarze und blanke Seite des Würfels zur Kamera zeigen. Wasser kochen und mit einem Trichter in den Würfel einfüllen. Messung mit der Wärmebildkamera starten.

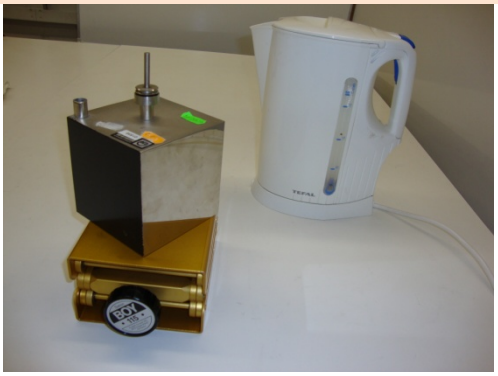


Abb.: Leslie-Würfel mit Wasserkocher

Ergebnisse und Auswertung

Die schwarze Seite des Leslie-Würfels weist im Vergleich zur blanken Seite einen deutlich höheren Emissionsgrad auf. Die blanke Seite scheint sich kaum erwärmt zu haben. Blanke Oberflächen haben die grundsätzliche Eigenschaft, weniger Strahlung auszusenden. Allerdings kommt es sehr auf die Zusammensetzung und Rauigkeit der Oberflächen an. Von diesen Eigenschaften hängt das Abstrahlungsverhalten ab.

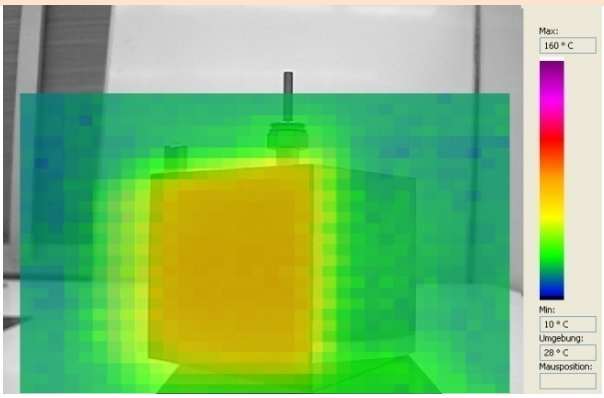


Abb.: Mit der DidCAM aufgenommener Leslie-Würfel

Anmerkungen

Achtung, Verbrennungsgefahr!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Vergleich schwarzes und weißes T-Shirt

Radiometer

Fragestellung

Warum dreht sich das Radiometer?

Material

- Glühlampe
- Radiometer (Inv.-Nr. 03124)
- Wärmequelle. z. B. IR-Strahler (250 W) im Lampengewinde mit Halterung

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

Durchführung

Infrarotlampe dicht an das Glasgefäß des Radiometers bringen und einschalten. Nach einer Wartezeit wird sich das Flügelkreuz drehen, und zwar so, dass sich die schwarzen Flächen von der Infrarotlampe weg drehen. Nach Entfernen der Lampe dreht sich nach einiger Zeit das Drehkreuz in entgegengesetzter Richtung.

Abb.: Radiometer mit Infrarotstrahler

Ergebnisse und Auswertung

Radiometer nach Crooks: Die freie Weglänge der Moleküle (Luft, evakuiert) beträgt im Inneren des Gefäßes ca. 1 cm. Das Gefäß muss etwas evakuiert sein, damit die Moleküle nicht sofort wieder mit anderen Molekülen zusammenstoßen und auf die schwarze Fläche „zurückgeworfen“ werden. Aufgrund des höheren Absorptionsvermögens erwärmt sich die schwarze Fläche mehr als die nicht geschwärzte. Das Temperaturgefälle zwischen der schwarzen und blanken Fläche führt auf der schwarzen Fläche (stärkere Molekularbewegung) zu einem stärkeren Rückstoß der Luftmoleküle und setzt die Flügel in Bewegung. Stichwort Brown‘sche Molekularbewegung.

Anmerkungen

Nach dem Entfernen der Infrarotlampe und nach kurzer Wartezeit kühlen sich die schwarzen Flächen schneller ab (höhere Emission als bei den blanken Flächen), was zu einer Umkehrung der Drehrichtung führt. Ursache ist die Umkehrung des Temperaturgefälles und damit auch des stärkeren Rückstoßes der Moleküle. Mit einem Bügeleisen funktioniert das nicht.
Verbrennungsgefahr!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		

Taschenwärmer

Fragestellung

Wie funktioniert ein Taschenwärmer?

Material

- Wasser
- Flir Wärmebildkamera
- Taschenwärmer
- Kochplatte

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

Durchführung

Taschenwärmer auf eine Tischplatte legen. Wärmebildkamera anschalten und Stahlplättchen knicken.

Abb.: Taschenwärmer

Ergebnisse und Auswertung

Im Taschenwärmer befindet sich eine Salzlösung mit wenig Wasser (1 Teil) und viel Natriumacetattrihydrat (10 Teile). Wird das kristallisierte Material gekocht, wird das meiste Salz im Wasser aufgelöst, es entsteht ein metastabiler Zustand.

Durch Knicken des Stahlplättchens entsteht eine Unebenheit, an der sich Kristalle anlagern können und die Kristallisation beginnt von vorne. Die Kristallisationswärme beträgt ca. 50 °C.

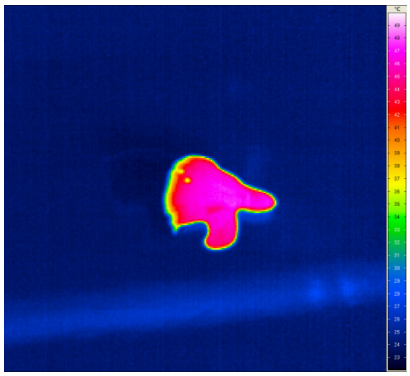


Abb.: Fortschreitende Kristallisation unter Abgabe von Wärme

Anmerkungen

Nach 5 min Kochen im Wasserbad lösen sich die Kristalle wieder im Wasser auf.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Taschenwärmer im Winter

Aufteilung des Spektrums

Fragestellung

Wie kann das Spektrum auf Infrarotstrahlung untersucht werden?

Material

- Halogen Experimentierleuchte 12V/50W PHYWE
- Netzteil 12V/5A
- Optische Bank
- 4 Reiter
- Verschiebbare Aufnahme Thermosäule
- Voltmeter mit 20 mV Bereich
- Thermosäule
- Gradsichtprisma
- Prismenhalter
- Einfachspalt
- Blendenaufsatz für Thermosäule
- 2 Bananenkabel

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

Durchführung

Die Halogenlampe wird auf eine optische Bank montiert. Davor wird ein Einfachspalt und auf einer verstellbaren Aufnahme die Thermosäule angebracht. Vor die Thermosäule wird eine Blende mit Schlitz angebracht (das kann auch ein Stück Papier sein). Die Thermosäule wird mit dem Voltmeter verbunden, die Halogenlampe eingeschaltet und der Aufbau justiert.

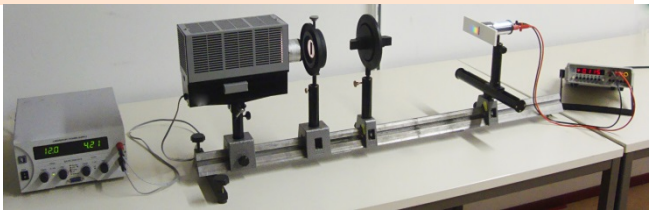


Abb.: Optischer Aufbau mit Halogenlampe und Gradsichtprisma

Ergebnisse und Auswertung

Mit dem Gradsichtprisma wird das weiße Licht in seine Spektralfarben zerlegt. Auf der Blende vor der Thermosäule ist das Spektrum zu sehen. Durch die horizontal verstellbare Halterung der Thermosäule lässt sich der Schlitz stets auf einen ausgewählten Wellenlängenbereich einstellen. Das Voltmeter zeigt bei höherer Intensität der Strahlung eine höhere Spannung an. Im Bereich rechts neben dem Rot (Infrarot) ist die Intensität am stärksten.

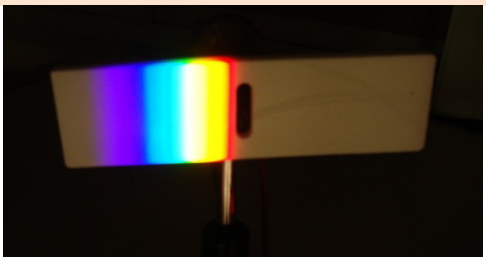


Abb.: Spektrum des Lichtes auf der Blende

Anmerkungen

Am besten sind Punktlichtquellen geeignet. Notfalls eignet sich auch eine Kohlebogenlampe (Vorsicht: Starke UV- und Wärmestrahlung). Das Prisma muss Infrarotstrahlung durchlassen können.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag

Einleitung: 5 min
Durchführung: 10 min
Auswertung: 5 min

Glühender Draht

Fragestellung

Ab welcher Temperatur wird die thermische Strahlung eines Körpers sichtbar?

Material

- Gasbrenner
- Stativmaterial
- Stahldraht
- Temperaturfühler

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

Durchführung

Der Draht wird mit einer Klemme am Stativ befestigt, so dass er in die Flamme des Gasbrenners gehalten werden kann. Die Temperatur des Drahtes wird gemessen. Da der Draht den Fühlerdurchmesser unterschreitet, kann die Temperatur nur größenordnungsmäßig abgeschätzt werden.

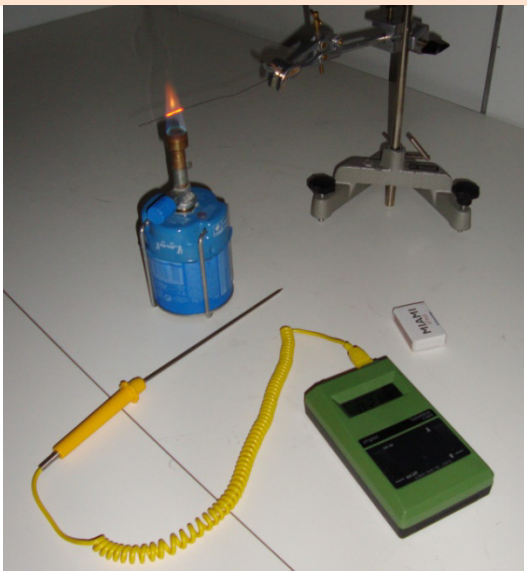


Abb.: Glühender Draht in der Flamme eines Gasbrenners

Ergebnisse und Auswertung

Wird der Körper heißer als 500 °C tritt zusätzlich zur thermischen Strahlung auch sichtbare Strahlung auf.
Der Draht wird schnell heiß und beginnt zu glühen. Dabei sind zuerst ein rötliches Glühen und schließlich ein oranges Glühen zu beobachten (schwarzer Körper).

Anmerkungen

Vorsicht mit der offenen Flamme! Den richtigen Temperaturfühler (zulässiger Messbereich) benutzen. Eine eventuelle Isolation des Drahtes vorher entfernen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Glühende Drähte im Toaster

Heizstrahler mit schwarzer und weißer Oberfläche

Fragestellung

Erhitzen sich Heizstrahler mit schwarzer und weißer Oberfläche bei gleicher Leistung auf die gleiche Temperatur?

Material

- Optische Bank
- Stativmaterial
- Doppel-Heizstrahler
- Wärmebildkamera

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

Durchführung

Doppel-Heizstrahler auf der optischen Bank befestigen. Bei der Wärmebildkamera über das Einstellmenü zwei Messpunkte an vergleichbaren Stellen auf der Oberfläche beider Strahler setzen. Heizstrahler anschalten und fünf Minuten warten. Die Messung mit der Wärmebildkamera wiederholen.

Abb.: Baugleiche Heizstrahler mit schwarzer und weißer Oberfläche

Ergebnisse und Auswertung

Beide Heizstrahler emittieren im infraroten Bereich mit gleichem Emissionsfaktor und gleicher Intensität. Im infraroten Bereich existieren keine Farbunterschiede mehr, sondern nur unterschiedliche Oberflächenstrukturen. Dies gilt auch für die Absorption von schwarzen und weißen Oberflächen mit gleicher Oberflächenstruktur bei infraroter Bestrahlung. Unterschiedliche Absorption tritt nur bei sichtbarem Licht auf.

Kleine Temperaturabweichungen von einigen Grad können zwischen beiden Heizstrahlern auftreten. Sie sind in den Fertigungstoleranzen begründet.

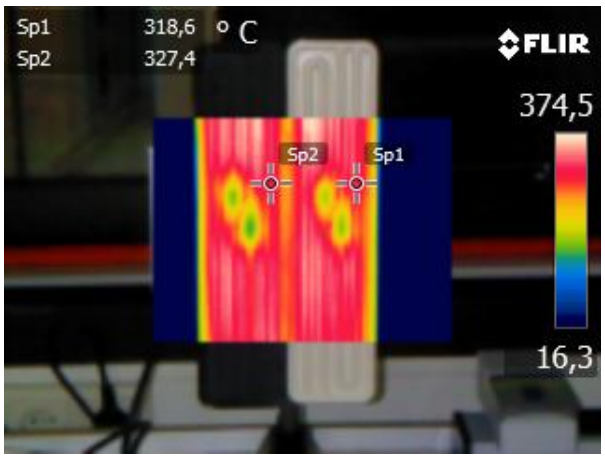


Abb.: Erhitzte Wärmestrahler mit ähnlicher Temperatur

Anmerkungen

Vorsicht mit den Heizstrahlern. Ihre Temperatur beträgt ca. 400 °C.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Wärmestrahler zur Raumerwärmung

Infrarot-Thermometer

Fragestellung

Welche Vorteile hat das Infrarot-Thermometer?

Material

- Infrarot-Thermometer
- Temperaturfühler
- Herdplatte
- Bügeleisen

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

Durchführung

Mit dem Infrarot-Thermometer wird die Temperatur verschiedener Gegenstände in der Umgebung gemessen, zum Beispiel eine Herdplatte, ein Bügeleisen, Menschen. Zum Vergleich wird die Temperatur auch mit einem Messfühler bestimmt.

Abb.: Temperaturfühler, Infrarot-Thermometer, Bügeleisen und Herdplatte

Ergebnisse und Auswertung

Mit dem Infrarot Thermometer lässt sich die Temperatur schneller bestimmen. Der Messfleck des Thermometers vergrößert sich mit der Entfernung. Er muss immer innerhalb des zu messenden Objektes liegen. Ein Problem gibt es bei Oberflächen, die einen sehr niedrigen Emissionsgrad haben (z. B. blanke Metalloberflächen). Hier muss der Emissionsgrad des Infrarot-Thermometers den Oberflächenverhältnissen angepasst werden, um auf die gleiche Temperatur zu kommen, die der Messfühler anzeigt.

Anmerkungen

Achtung, der Laserstrahl (Orientierungsstrahl) darf nicht ins Auge gerichtet werden! Emissionsfaktoren der Gegenstände beachten!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		Berührungslose Temperaturmessung z. B. mit einem Ohrthermometer

Bewegungsmelder mit Wärmesensor

Fragestellung

Kann ein Infrarot Bewegungsmelder überlistet werden?

Material

- (Infrarot-)Bewegungsmelder
- Steckdosenleiste
- Metallisierte Rettungsdecke
- Abschirmung für die Beine
- Schutzfenster (Inv.-Nr. 01306)
- Frequenzgenerator
- 3 Stellwände, strahlungsabsorbierend

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

Durchführung

Bewegungsmelder in die Steckdose stecken. Mit dem Bewegungsmelder einen Frequenzgenerator mit Strom versorgen und Stellwände in den Überwachungsbereich stellen. Programmschalter auf „Auto“, „Time“ auf „min“, „Sens“ auf „+ max“ und „Lux“ ebenfalls auf „+ max“ einstellen.
Einmal ohne Schutz, dann hinter dem Schutzfenster und schließlich in Aluminiumfolie gehüllt an dem Bewegungsmelder vorbeilaufen.

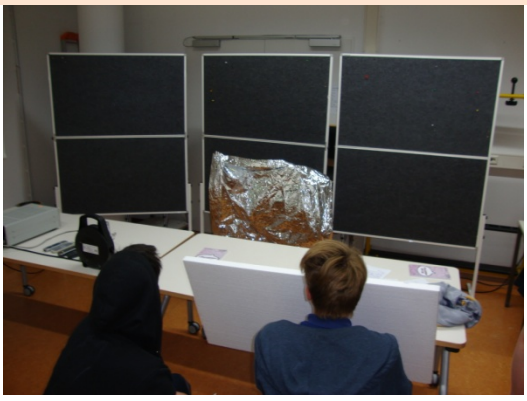


Abb.: Ein Schüler hat sich hinter einer Aluminiumfolie versteckt. Im Vordergrund der Bewegungsmelder.

Ergebnisse und Auswertung

Der PIR-Sensor (*passive infrared*) ist ein Wärmesensor, der auf Wärmeflussänderungen reagiert. Läuft z. B. ein Mensch an dem Bewegungsmelder vorbei, wird ein Alarm ausgelöst. Dagegen schirmt eine Aluminiumfolie oder eine Kunststoffplatte die Wärmestrahlung ab, und es erreicht nur die reflektierte Umgebungs- oder Körpertemperatur den Sensor.
Die Stellwände sollen Reflexionen von Strahlungsquellen verhindern.

Abb.: Bewegungsmelder

Anmerkungen

Verschiedene transparente Materialien lassen die Strahlung weniger stark, gestreut oder fast gar nicht passieren. Dies hängt mit der Absorptionsfähigkeit der verschiedenen Materialien zusammen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	-	Überwachungskamera

Thermohaus

Fragestellung

Welche Materialien können zur besseren Wärmedämmung der Fassade und der Fenster eines Wohnhauses verwendet werden?

Material

- Thermohaus
- Glühlampe (40 W)
- Notebook mit Software für Kamera
- Flir Wärmebildkamera

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

Durchführung

Das Thermohaus wird innen im Erdgeschoss mit einer 40 W Lampe erwärmt. Alle Türen des Modellhauses sollen geschlossen sein und die Glühlampe sollte 15 min vor Beginn der Messungen angeschaltet werden. Mit der Wärmebildkamera erfolgt die Untersuchung der Hausfassade.

Abb.: Wohnhaus wird mit einer 40 W Glühlampe beheizt.

Ergebnisse und Auswertung

Die Wärme der 40 W Glühlampe kann ungehindert die innere Fassade erwärmen. Die Wärme gelangt allerdings nicht (bzw. kaum) in den ersten Stock. Das liegt an der Decke, die einen erheblichen Wärmewiderstand darstellt und folglich wenig Wärme zur Fassade durchlässt. Die Fassade erscheint kühler. Bei Messungen am Fensterglas muss auf Spiegelungen geachtet werden, die das Messergebnis verändern.

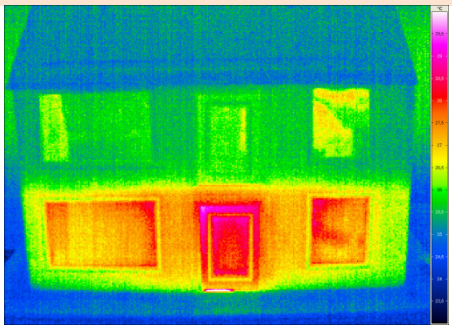


Abb.: Aufgeheiztes Wohnhaus

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Erkennung von Wärmebrücken an Gebäuden

Transmissionsunterschiede

Fragestellung

Welche Materialien lassen Wärmestrahlung passieren, welche nicht?

Material

- Luftballon
- Overheadfolie
- Geschenkfolie
- Frischhaltefolie
- Glasscheibe
- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Tesafilm
- Optische Bank (1 m)
- Steckrahmen für Folie
- Glühlampe (60 W)

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

Durchführung

Der Folienrahmen und die Glühlampe werden auf der optischen Bank montiert. Die Glühlampe und die Wärmebildkamera einschalten, anschließend nacheinander die verschiedenen Materialien in den Strahlengang einfügen und Messwerte beobachten.

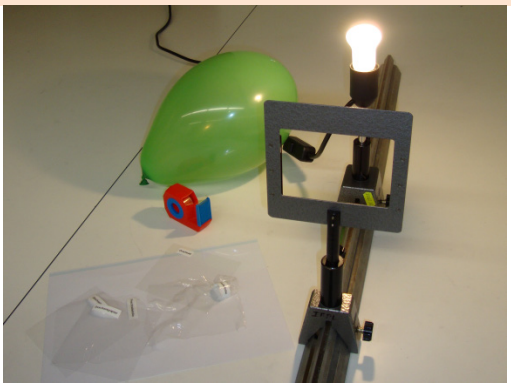


Abb.: Folienrahmen mit verschiedenen Materialien und 60 W Glühlampe

Ergebnisse und Auswertung

Eine ähnliche Transparenz der einzelnen Materialien im sichtbaren Bereich bedeutet nicht, dass im Bereich der Wärmestrahlung die Transparenz ebenfalls gleich ist.

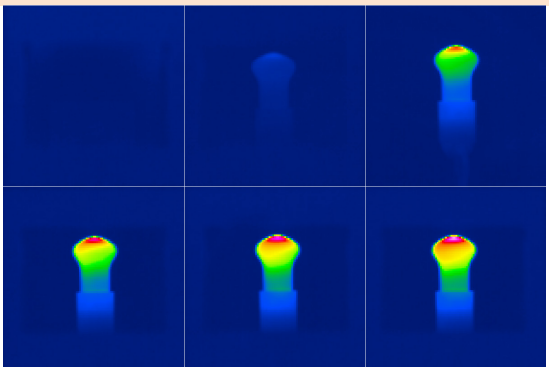


Abb.: Transparenz verschiedener Materialien für Wärmestrahlung (Glühlampe, 60 W). Von links nach rechts 1. Reihe: Glas, Overheadfolie, Luftballon; 2. Reihe: Geschenkfolie, Frischhaltefolie, keine Folie

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Folien an Fensterscheiben verhindern den Wärmeverlust.

Folie im Strahlengang

Fragestellung

Wie hängt die Temperatur der Glühlampe von der Schichtdicke der dazwischenliegenden Folie ab?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Stücke von Geschenkfolie
- Optische Bank mit Reiter und Klemme
- Glühlampe (60 W)

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

Durchführung

Nacheinander werden die Folienpakete (keine Folie/1/2/10 Folien) auf den Folienrahmen geheftet. Die Glühlampe wird eingeschaltet und mit der Wärmebildkamera die jeweilige Temperatur bestimmt. Wenn sich keine Folie im Rahmen befindet, sollte mit dem Cursor des Messprogramms der Thermokamera ein Punkt mit maximaler Temperatur gesucht werden. Die Cursorposition und die Temperaturskala bleiben danach für alle weiteren Messungen unverändert.

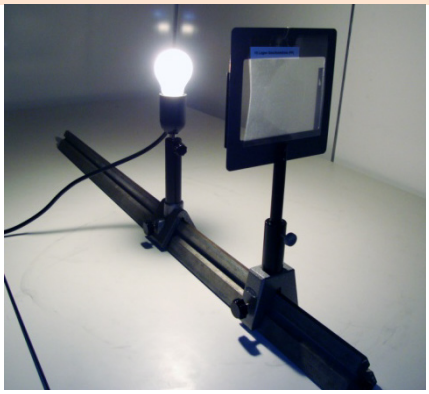


Abb.: Foliensatz zwischen Glühlampe und Wärmebildkamera

Ergebnisse und Auswertung

Die Folien absorbieren das auftreffende Licht – allerdings steigt die Absorption mit zunehmender Schichtdicke nicht linear an. Für verschiedene Folienarten, die zwar alle transparent sind, aber aus unterschiedlichen Kunststoffen bestehen, ergeben sich auch unterschiedliche Absorptionsverläufe. Werden die Messwerte in einem Diagramm aufgetragen (Temperatur als Funktion der Anzahl der Folien) ergibt sich näherungsweise ein exponentieller Verlauf: Mit zunehmender Foliendicke nimmt die Temperatur immer weniger ab.

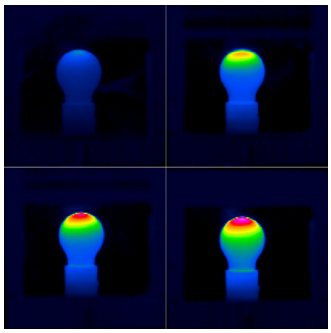


Abb.: von links nach rechts: Geschenkfolie im Strahlengang der Wärmebildkamera
1. Zeile:10 Lagen und 2 Lagen
2. Zeile:1 Lage und ohne Folie

Anmerkungen

Anstelle einer Glühlampe kann auch ein schwarzer Strahler verwendet werden.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Folien an Fensterscheiben verhindern den Wärmeverlust.

Kleidung

Fragestellung

Wie schützt Kleidung vor dem Frieren?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Versuchsperson mit T-Shirt oder Pullover
-

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

Durchführung

Die Versuchsperson setzt sich vor die Kamera und krempelt einen Ärmel hoch. Das Infrarotbild wird beobachtet. Nach einiger Zeit wird auch der zweite Ärmel hochgekrempelt und die Hauttemperatur beider Arme/Schultern miteinander verglichen.

Ergebnisse und Auswertung

Die Schulter, die zuvor mit dem T-Shirt bedeckt war, weist eine höhere Temperatur auf als der übrige Arm. Nach einiger Zeit nimmt die Temperatur ab. Wird nun auch die zweite Schulter frei, so weist diese eine höhere Temperatur auf als die erste.
Die Kleidung reduziert die Wärmeabstrahlung des Körpers und hält ihn dadurch warm.

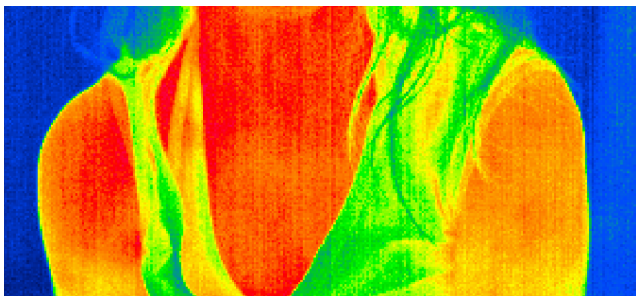


Abb.: Wärmebild des Schulterbereichs

Anmerkungen

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

Isolierung

Fragestellung

Welche Materialein eignen sich zur Wärmedämmung eines Hauses?

Material

- Thermohaus
- Temperaturfühler
- Notebook mit Software für Kamera
- Flir Wärmebildkamera

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

Durchführung

Das Modell des Thermohauses wird mit vier verschiedenen Materialien bestückt. Holzplatte 20mm, Styropor 20mm, Einfachglas und Doppelglas. Mit dem Temperaturfühler wird die Innentemperatur gemessen. Nach der Aufheizphase auf ca. 50 °C (Einstellung mit dem Regler in der Mitte) erfolgt eine Wärmebildaufnahme. Das Modellhaus wird mehrfach gedreht, so dass alle Materialien mit der Kamera „ausgemessen“ werden können.

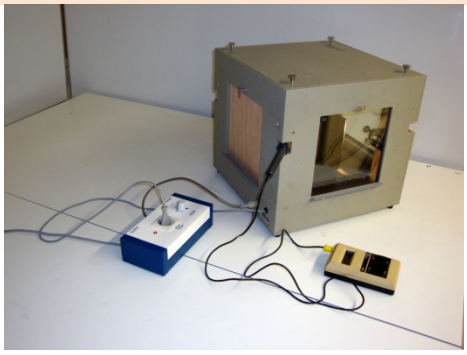


Abb.: Thermohaus mit Temperaturregelung und Temperaturfühler

Ergebnisse und Auswertung

Wie groß die Transmission der einzelnen Materialien ist, hängt nicht nur von der Beschaffenheit des Materials ab, sondern auch von seiner Dichte und Dicke. Bei der Bestimmung der Oberflächentemperatur mit der Kamera sollte darauf geachtet werden, dass die Temperatur nicht direkt am Rand des Materials bestimmt wird. Durch Undichtigkeiten erwärmt sich der obere Rand stärker (Wärmeleck). Weiterhin sollte auf Reflexionen der Glasoberfläche geachtet werden, diese können das Messergebnis erheblich beeinflussen.

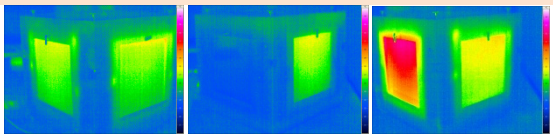


Abb.: Von links nach rechts: Holz/Doppelglas, Einfachglas/Styropor, Doppelglas/Einfachglas. Emissionsfaktor e = 0,95

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Unterschiede bei Dämmmaterialien

Becherglas

Fragestellung

Wann sind zwei gemessene Temperaturen gleich?

Material

- InfraTec
- Kleines Becherglas (500 ml) mit Wasser
- Wasserkocher
- Temperaturfühler mit Messgerät
- Buntstifte
- Notebook mit Software für Kamera

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

Durchführung

Ein Becherglas mit Leitungswasser füllen und auf den Magnetrührer stellen. Zur Beschleunigung des Versuchsablaufs kann das Wasser vorgewärmt werden. Die Temperaturvorwahl der Heizplatte beträgt 100 °C, die Magnetrührerfunktion bleibt ausgeschaltet. Anschließend Wärmebildkamera einschalten und eine Aufnahme machen. Mit dem Temperaturfühler (in der Gefäßmitte) die Temperatur des Wassers ermitteln.
Verbrühungsgefahr!

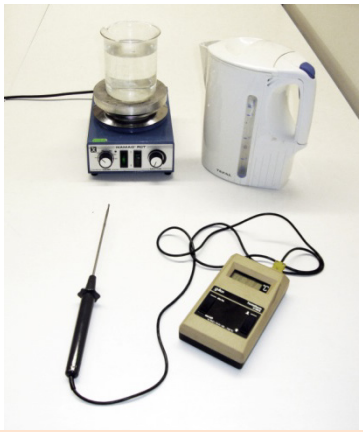


Abb.: Magnetrührer, bei dem die Heizung auf 100 °C eingestellt wird

Ergebnisse und Auswertung

An der Wasseroberfläche ist deutlich eine Konvektion zu erkennen. Die Messung der absoluten Werte kann schwanken, da sich Wasserdampf über der Wasseroberfläche bildet und die Messung durch Dichteschwankungen, Änderung des Emissionsfaktors und Reflexion beeinflusst wird. An der Becherglaswandung ist eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu beobachten. Die Kamera ist durch ihre Wellenlängenempfindlichkeit zwischen 8 und 13 µm nicht in der Lage, Vorgänge hinter der Glaswandung zu erkennen. Beide Messwerte weichen von der mit dem Temperaturfühler gemessenen Temperatur ab, weil in der Gefäßmitte die Temperatur höher ist als am Rand, und weil der Emissionsgrad von Materialien bei der Thermokamera eine wichtige Rolle spielt und das Messergebnis beeinflusst.

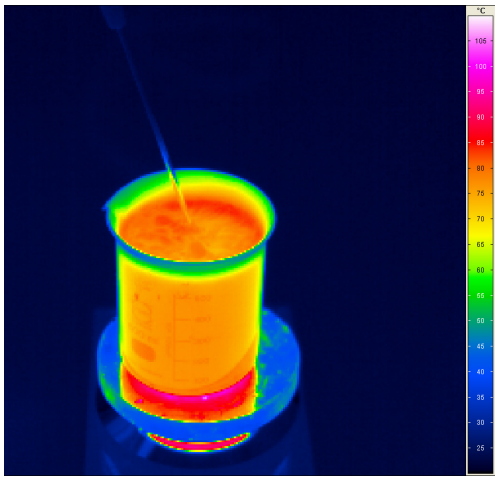


Abb.: Messung der Temperatur im Becherglas

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

Wasserkühlung

Fragestellung

Was kühlt besser: Wasser oder Luft?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Rührstab
- Becherglas mit Wasser (20 °C)
- Stoppuhr
- Wasserkocher
- Temperaturfühler

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

Durchführung

Ein Becherglas mit Leitungswasser füllen, durch Zugabe von Warmwasser und Durchmischung mit einem Rührstab auf Raumtemperatur erwärmen. Die Versuchsperson sollte 5 min vor der Messung keine Gegenstände berühren, da die Messung verfälscht werden könnte.
Es wird von beiden Händen eines Schülers eine Wärmebildaufnahme gemacht. Danach hält der Schüler eine Hand in das Becherglas mit Leitungswasser.
Nach 60 s wird die Hand abgetrocknet und es wird eine weitere Wärmebildaufnahme gemacht.

Abb.: Kühlung der Hand

Ergebnisse und Auswertung

Das Kühlvermögen von Luft ist deutlich geringer als das von Wasser. Ursache ist die bessere Wärmeleitfähigkeit von Wasser, die einen höheren Wärmestrom von der Hand in das kältere Medium ermöglicht. Die wassergekühlte Hand erscheint im Wärmebild kühler als diejenige, die in der Luft geblieben ist.

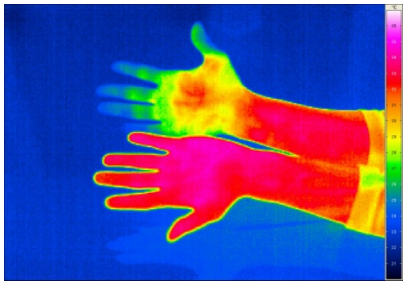


Abb.: Vergleich von wasser- und „luftgekühlter“ Hand

Anmerkungen

Das ist auch der Grund, weshalb Wasser gern als Kühlmittel eingesetzt wird. Der Effekt dreht sich bei wärmerem Wasser um: An heißem Wasser kann man sich schneller die Hände verbrennen als an heißer Luft, weil die Wärmekapazität des Wassers höher ist.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Im Schwimmbecken kühlt der Körper schneller aus als an Luft (bei gleicher Temperatur von Wasser und Luft).

Wärmeregulierung des menschlichen Körpers

Fragestellung

Kann Schweiß auf der Haut kühlen, obwohl er Körpertemperatur hat?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Mit Wasser gefülltes Becherglas
- Temperaturfühler
- Wasserkocher
- Rührstab

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

Durchführung

Ein Becherglas mit Leitungswasser füllen und auf 36 °C (menschliche Körpertemperatur) erwärmen. Die Versuchsperson sollte 5 min vor der Messung keine Gegenstände berühren, da die Messung sonst verfälscht werden könnte.
Ein Arm des Schülers wird mit dem 36 °C warmen Wasser benetzt. Das Wasser entspricht der Schweißabsonderung des menschlichen Körpers. Nach ca. 30 s wird eine Wärmebildaufnahme von beiden Armen gemacht.

Abb.: Mit Wasser benetzter Arm

Ergebnisse und Auswertung

Das Kühlvermögen von Luft ist deutlich geringer als das von Wasser. Um diesen Effekt zu simulieren, wurde der Schweiß durch 36 °C warmes Wasser, das näherungsweise der Körpertemperatur entspricht, ersetzt. Ursache ist die an die Luft abgegebene Verdampfungswärme des Wassers, das vorher durch die Haut erwärmt wurde. Der mit Wasser benetzte Arm erscheint im Wärmebild kühler als der an der Luft verbliebene.

Abb.: Wasserkühlung unten

Anmerkungen

Die im Schweiß enthaltenen Mineralien gelten für die Ergebnisse des Versuchs als vernachlässigbar.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Bei höheren Temperaturen fängt der menschliche Körper an zu schwitzen.

Verschiedene Stäbe im Wasserbad

Fragestellung

Welches Material leitet besser die Wärme?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Ingenhouszbehälter (Inv.-Nr. 01884)
- Wasserkocher

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

Durchführung

Wärmebildkamera einschalten. Wasser kochen und in den Behälter gießen. Deckel mit den drei verschieden Stäben aus Aluminium, Holz und Kupfer aufsetzen. Die Stäbe jeweils mit Papier umwickeln, um eine Vergleichbarkeit mit der Wärmebildkamera zu ermöglichen. Die Temperaturveränderung der Stäbe beobachten.

Abb.: Wärmeleitfähigkeit nach Ingenhousz

Ergebnisse und Auswertung

Stäbe aus Aluminium, Holz und Kupfer leiten wegen des unterschiedlichen Wärmewiderstands die Wärme unterschiedlich schnell weiter. Dies ist im Wärmebild an der sich unterschiedlich schnell ausbreitenden Wärme erkennbar..

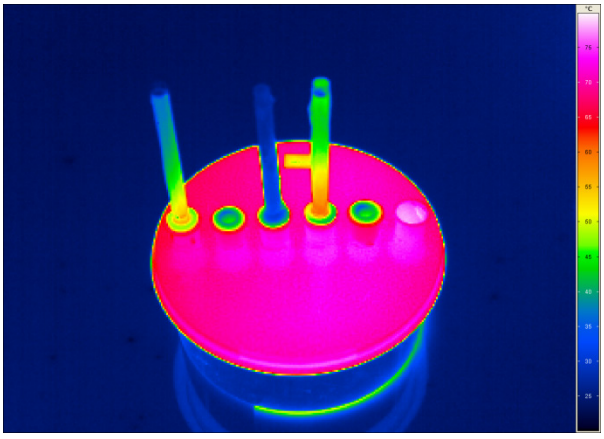


Abb.: Wärmeleitung von Aluminium, Holz und Kupfer

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Metalltürklinken leiten die Temperatur der Umgebung weiter.

Kältespray

Fragestellung

Welche Wirkung hat Kältespray auf einer Overheadfolie?

Material

- Kältespray
- Overheadfolie
- InfraTec
- Zubehör der Kamera

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

Durchführung

Wärmebildkamera einschalten und einen Messbereich wählen, der auch negative Temperaturen erfassen kann. Mit dem Kältespray auf eine Overheadfolie ein beliebiges Zeichen sprühen und die Folie in die Kamera halten.

Nur in dem Temperaturbereich „– 40 °C bis + 120 °C“ und im „min/max“-Modus kann eine negative Temperaturmessung erfolgen.

Abb.: Kältespray

Ergebnisse und Auswertung

Die Overheadfolie (aus Polyester) speichert aufgrund der materialbedingten Wärmekapazität einige Sekunden lang die unterkühlte Zone. Das gilt auch für wärmere Bereiche (z. B. ein Handabdruck).

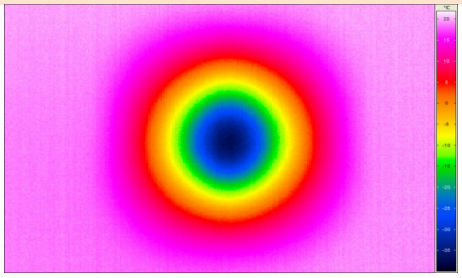


Abb.: Wärmebild einer Overheadfolie, die mit Kältespray besprüht wurde

Anmerkungen

Achtung, Temperatur von –52 °C, Verletzungsgefahr!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Anwendung bei der Fehleranalyse von elektronischen Bauteilen

Wärmeleitung in Metall

Fragestellung

Welches Metall leitet schneller die Wärme?

Material

- Wärmeleitapparat aus drei verschiedenen Metallblechen (Inv.-Nr. 01879)
- Streichhölzer
- Stativ
- Bunsenbrenner

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

Durchführung

Auf ein Metallkreuz, bestehend aus Kupfer, Messing und Eisen, werden Streichhölzer auf die Schenkelenden gelegt. Zentral, unter dem Kreuz, erhitzt ein Bunsenbrenner das Metallkreuz, bis alle drei Streichhölzer sich entzünden.

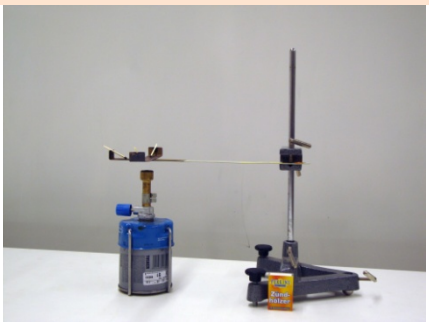


Abb.: Wärmeleitung in unterschiedlichen Metallen

Ergebnisse und Auswertung

Kupfer leitet die Wärme am besten. Dann folgen Messing und Eisen. Mit Erreichen der Zündtemperatur von Schwefel (300 °C) brennen die Streichhölzer ab.

Abb.: Metallkreuz aus Kupfer, Messing und Eisen

Anmerkungen

Verbrennungsgefahr! Vorsicht mit langen Haaren!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		Kupfer ist als Stromleiter am besten geeignet.

Subjektive Wärmeleitung

Fragestellung

Lässt sich die Wärmeleitung in Metallstäben spüren?

Material

- Bunsenbrenner
- Streichhölzer
- Metallstäbe aus Fe, Cu, Ms, Al
- Stativmaterial

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

Durchführung

Einen Stab aus Aluminium in eine Halterung einspannen und in der Mitte mit Hilfe eines Bunsenbrenners erwärmen. Gleichzeit fasst eine Versuchsperson den Stab an der freien Seite an und wartet, bis sich der Stab deutlich erwärmt.

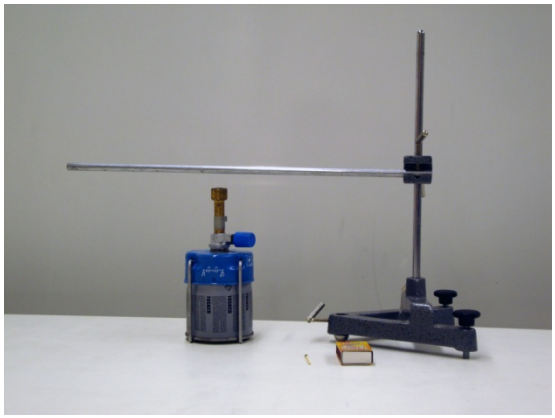


Abb.: Ein Aluminiumstab wird in der Stabmitte erhitzt.

Ergebnisse und Auswertung

Wegen der guten Wärmeleitfähigkeit des Stabes spürt die Versuchsperson (nach einer Wartezeit) die Erwärmung. Alternativ kann auch ein Kupfer-, Messing- oder Eisenstab verwendet werden.

Anmerkungen

Verbrennungsgefahr! Vorsicht mit langen Haaren!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min		Kalte/heiße Türklinke

Konvektion im Becherglas

Fragestellung

Wie breitet sich die Wärme aus?

Material

- Becherglas mit Wasser (550 ml)
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für Kamera
- Magnetrührer als Heizplatte

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

Durchführung

Ein Becherglas mit Leitungswasser füllen und auf den Magnetrührer stellen. Zur Beschleunigung des Versuchsablaufs kann das Wasser vorgewärmt werden. Die Temperaturvorwahl beträgt 100 °C, die Magnetrührerfunktion bleibt ausgeschaltet. Nun die Wärmebildkamera einschalten.

Abb.: Magnetrührer als Heizplatte

Ergebnisse und Auswertung

An der Wasseroberfläche ist deutlich eine Konvektion zu erkennen. Die Messung der absoluten Werte kann schwanken, da sich Wasserdampf über der Wasseroberfläche bildet und die Messung durch Dichteschwankungen, Änderung des Emissionsfaktors und Reflexion beeinflusst wird. An der Becherglaswandung ist eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu beobachten. Die Kamera ist durch ihre Wellenlängenempfindlichkeit zwischen 8 und 13 µm nicht in der Lage, Vorgänge hinter der Glaswandung zu erkennen.

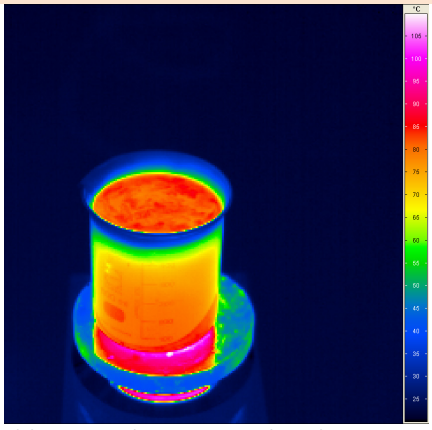


Abb.: Konvektion im Becherglas

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Konvektion von Milch in der Kaffeetasse

Modell einer Zentralheizung

Fragestellung

Wie wird die Wärme bei einer Zentralheizung transportiert?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Heizungsmodell (Inv.-Nr. 03624)
- Destilliertes Wasser
- Lebensmittelfarbe
- Holzspäne

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

Durchführung

Entlüftungsverschlüsse leicht öffnen. Destilliertes Wasser in das Rohrsystem des Heizungsmodells zu 75 % einfüllen und rechtzeitig die Entlüftungsöffnungen wieder verschließen. Restliche Lufteinschlüsse durch Kippen des Modells eliminieren. Eine Prise Holzspäne (2 bis 3 g) in den Trichter geben. Verbleibendes Leitungssystem bis zum unteren Rand des Trichters auffüllen. Heizung einschalten und darauf achten, dass das Wasser nicht kocht. Später einen Tropfen Lebensmittelfarbe hinzugeben.

Abb.: Gefülltes Heizungsmodell

Ergebnisse und Auswertung

Das Heizungsmodell zeigt die Wärmekonvektion einer Schwerkraft-Heizung. Die Heizzweige in beiden Stockwerken sind zueinander parallel angeordnet. Der Durchflusswiderstand ist ähnlich, so dass ein vergleichbarer Wärmefluss von der links unten liegenden Heizungsquelle erzeugt wird. Die Heizrippen sind wiederum parallel zueinander geschaltet. Holzspäne und Farbe im Wasser zeigen, dass das erwärmte Wasser ein geringeres spezifisches Gewicht aufweist und nach oben steigt. Das kalte Wasser ist schwerer, sinkt nach unten und wird durch das warme Wasser in den Rücklaufzweig gedrückt. Die Konvektion hat begonnen.

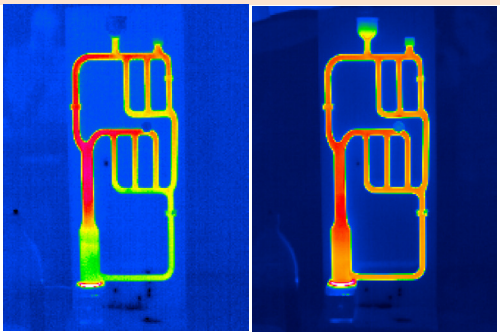


Abb. links: Start der Zirkulation (hier 40 °C max.), rechts: Zirkulation (hier ca. 80 °C max.)

Anmerkungen

Achtung, das Modell ist aus Glas, daher Bruchgefahr und bei Erwärmung Verbrennungsgefahr!
Skaleneinstellungen der Kamera beim Vergleich der Temperaturen beachten!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Schwerkraftheizungen werden in Wohnhäusern verwendet.

Konvektion in Rechteckröhre

Fragestellung

Wie verteilt sich erwärmtes Wasser in einer Rechteckröhre?

Material

- Rechteckröhre aus Glas
- Bunsenbrenner
- Flir Wärmebildkamera
- Stativ
- Lebensmittelfarbe
- Wasser

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

Durchführung

Rechteckröhre mit destilliertem Wasser befüllen und Wärmebildkamera einschalten. Mit dem Bunsenbrenner den drahtumwickelten Ansatz aufheizen. Einen Tropfen Lebensmittelfarbe hinzugeben und beobachten.

Abb. : Rechteckröhre und benötigte Materialien

Ergebnisse und Auswertung

Das Heizungsmodell zeigt die Wärmekonvektion einer Schwerkraft-Heizung. Die Farbe im Wasser zeigt, dass das erwärmte Wasser ein geringeres spezifisches Gewicht hat und nach oben steigt. Das kalte Wasser ist schwerer, sinkt nach unten und wird durch das warme Wasser in den Rücklaufzweig gedrückt. Die Konvektion hat begonnen.

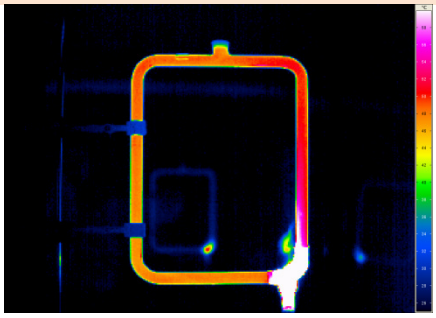


Abb.: Wärmebild einer erwärmten Rechteckröhre

Anmerkungen

Bruchgefahr! Verbrennungsgefahr! Vorsicht mit langen Haaren!

Zeit	Kamera	Zusatzinfos
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Schwerkraftheizung (vereinfachtes Prinzip)

Konvektion

Fragestellung

Wie verteilt sich warmes Wasser?

Material

- Glasflasche
- Lebensmittelfarbe
- Wasserkocher
- Hohes Glasgefäß
- Wasser

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

Durchführung

Reckeckiges Becken mit kaltem Wasser füllen. Wasser kochen und in ein Standgefäß einfüllen. In das Standgefäß 2 Tropfen Lebensmittelfarbe hinzufügen und die Verteilung beobachten. Nach der Gleichverteilung Standgefäß mit einem Handschuh in das kalte Becken stellen und beobachten.

Ergebnisse und Auswertung

Das untergetauchte Gefäß gibt sein gefärbtes, heißes Wasser an das kalte, umliegende ab und steigt nach oben. Es bildet sich oben eine leicht vermischte, warme Wasserschicht.

Abb.: Verteilung des heißen Wassers im kalten Wasser

Anmerkungen

Verbrühungsgefahr!

Zeit	Kamera	Zusatzinfos
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min		Schichtung des Wassers bei Meeresströmungen (Golfstrom)

Wärmeleitfähigkeit von Wasser

Fragestellung

Welche Eiswürfel schmelzen im Becherglas schneller, die oberen oder die unteren?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Tauchsieder
- Gewicht (Messingstück)
- Wäschesäckchen
- Lebensmittelfarbe
- Becherglas mit 1000 ml Wasser
- Eiswürfel

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

Durchführung

Ein Becherglas mit Leitungswasser füllen und in ein Wäschesäckchen einen schweren Gegenstand, hier ein Messingstück, und Eiswürfel packen.
Das Wäschesäckchen wird in das mit Wasser gefüllte Becherglas gegeben. In der oberen Hälfte erwärmt ein Tauchsieder das Wasser. Mit einem Temperaturfühler wird jeweils in der Nähe des Tauchsieders und der Eiswürfel die Wassertemperatur gemessen. Wenn die Temperatur am Tauchsieder den Siedepunkt erreicht hat, wird nochmals die Temperatur in der Nähe der Eiswürfel ermittelt. Anschließend wird ein Tropfen Lebensmittelfarbe in das Wasser gegeben.

Abb.: Tauchsieder

Abb.: Wäschesäckchen mit Eiswürfeln und Messingstück

Ergebnisse und Auswertung

Die im Wasser erzeugte Wärme steigt immer nach oben und zirkuliert in den oberen Wasserschichten. Zur Demonstration werden im unteren Teil des Becherglases Eiswürfel „fixiert“. Dies geschieht mit Hilfe eines Gewichts (Messing) in einem Wäschesäckchen, das Gewicht kompensiert den Auftrieb der Eiswürfel. Die Zugabe von Lebensmittelfarbe zeigt deutlich eine Schichtung zwischen dem oben und unteren Bereich des Wassers im Becherglas, was auf eine fehlende Konvektion hindeutet. Die Messergebnisse bestätigen dies. In der Nähe des Tauschsieders wird eine Temperatur von 98 °C gemessen, bei dem unteren Eiswürfel eine Temperatur von 7 °C.

Abb.: Schichtung des Wassers mit Eiswürfel und Tauchsieder

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Schichtung von Meeresströmungen

Wärmepumpe

Fragestellung

Wie funktioniert die Wärmepumpe?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- Wärmepumpe (Inv.-Nr. 02127)
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)

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

Durchführung

Den linken Netzschalter betätigen. Auf dem linken Manometer wird der Druck des Verdampfers angezeigt, auf dem rechten der Druck des Kondensators. Der Überdruckwächter (Überdruckventil) schützt den Kreislauf. Es müssen keine Einstellungen vorgenommen werden.

Abb.: Wärmepumpe

Ergebnisse und Auswertung

Der Verdampfer (mit Fluid R12 als Kältemittel) nimmt auf der linken Seite (Wendel) Umgebungswärme auf, die das flüssige Medium verdampfen lässt. In den Kompressor geleitet, steigt durch Kompression die Temperatur des Gases an. Wird das Gas in den Kondensor weitergeleitet, gibt das gasförmige Medium seine Temperatur an die Umgebung ab und verflüssigt sich. Über ein nachgeschaltetes Drosselventil wird das Fluid entspannt, der Druck nimmt wieder ab und der Kreislauf beginnt im Verdampfer erneut.

Auf dem Wärmebild ist in der Verdampferschlange die Abkühlung und in dem Kondensor die Erhitzung zu erkennen. Die Kondensorschlange entspricht z. B. einem Heizkörper.

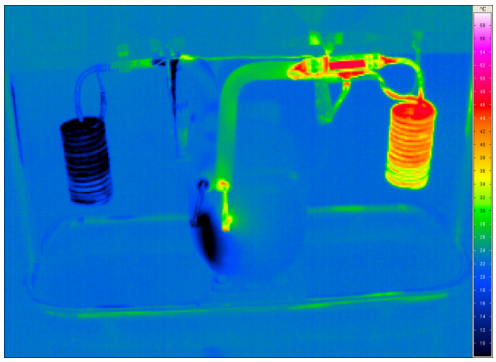


Abb.: Thermobild einer Wärmepumpe im Betrieb

Anmerkungen

Der Trockner soll Reste von Wasser in dem Fluid entfernen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Grundlage zum Verständnis eines Kühlschranks

Widerstände

Fragestellung

Wovon hängt die Wärmeabgabe eines Widerstands ab?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)

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

- Stromkreis auf Steckplatte
- Widerstände
- Spannungsquelle
- 2 Kabel
- Stoppuhr

Durchführung

Es werden drei Widerstände auf dem Steckbrett parallel geschaltet. Der Spannungsregler wird auf eine mittlere Position, der Stromregler auf null gestellt. Das Netzgerät einschalten und den Strom auf ca. 1 A hochregeln. Wärmebildkamera einschalten und Erwärmung beobachten.

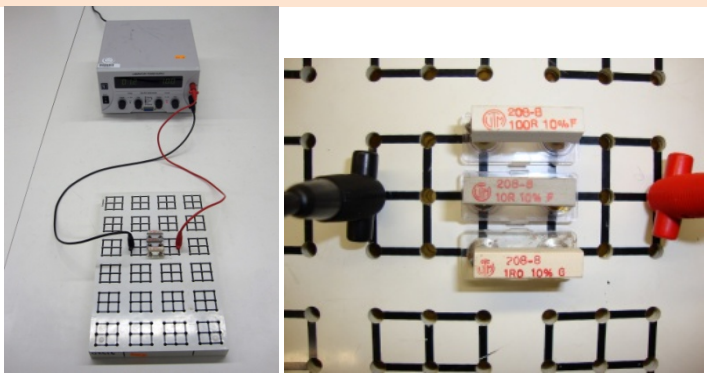


Abb.: Parallelschaltung 1, 10 und 100 Ohm (je 5 W)

Ergebnisse und Auswertung

Alle 3 Cermet-Widerstände unterscheiden sich voneinander um den Faktor 10. Bei gleicher Spannung teilt sich der Strom ebenfalls um den Faktor 10 auf die Widerstände auf, so dass sich die abgegebene Wärmeleistung von unten nach oben auf ca. 1 W, 0,1 W und 10 mW beläuft. Die erzeugte Temperatur hängt nicht linear vom Widerstand ab. Es gilt das Stephan-Boltzmann Gesetz.

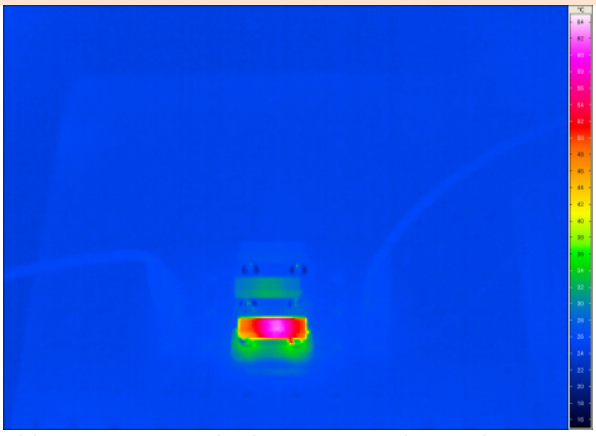


Abb. von unten nach oben: 1, 10 und 100 Ohm

Anmerkungen

Für eine genaue Ermittlung der Leistung des Widerstandes muss dessen Toleranz berücksichtigt werden.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Wärmeverlust an Widerständen

Glühlampe gegen Energiesparlampe

Fragestellung

Welche Lampe wird wärmer?

Material

- Flir Wärmebildkamera
- Notebook mit Software für Kamera
- Stoppuhr
- Glühlampe (40 W)
- Energiesparlampe (9 W)
- Temperaturmessgerät mit Messfühler

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

Durchführung

Eine Sparlampe (9 W) und eine Glühlampe (40 W) werden nebeneinander aufgebaut und angeschaltet. Wärmebildkamera in Betrieb nehmen. Nach ca. 5 min eine Messung mit der Wärmebildkamera vornehmen und anschließend mit dem Messfühler an jeder Lampe von der Seite und dem obersten Punkt der Glühlampe die Messwerte ermitteln.

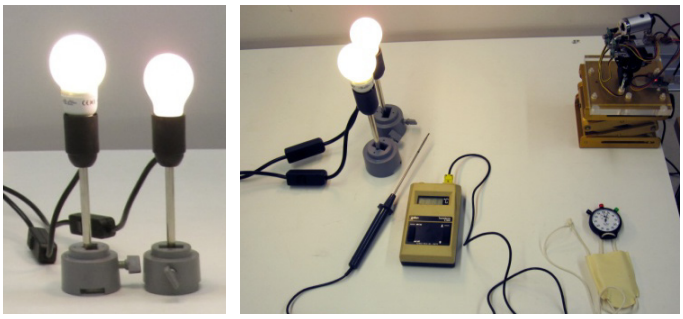


Abb. links: Sparlampe (9 W) und Glühlampe (40 W), rechts: Versuchsaufbau

Ergebnisse und Auswertung

Die Sparlampe verbraucht ca. 75-80 % weniger Strom gegenüber der Glühlampe – bei vergleichbarer Lichtleistung. Dies zeigt sich auch bei den von den Lampen erzeugten Temperaturen: Diese unterscheiden sich deutlich voneinander. Die Sparlampe setzt wesentlich weniger Energie in Wärme um.

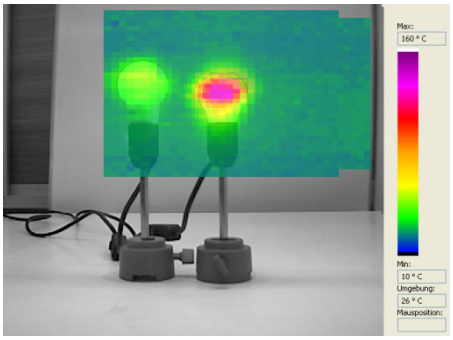


Abb.: Wärmebild von Sparlampe und Glühlampe

Anmerkungen

Verbrennungsgefahr!
Nachteil der Sparlampe ist das enthaltene Quecksilber.
Zur Erweiterung des Experimentes kann eine ca. 8W LED-Lampe zusätzlich verglichen werden.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Einsatz von Lampen im Haushalt

Peltier-Element

Fragestellung

Wie funktioniert ein Peltier-Element?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- Flir Wärmebildkamera
- Peltier-Element (Inv.-Nr. 01853)

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

- Spannungsquelle
- Klebepunkt
- Temperaturmessinstrument
- 2 Bananenleitungen

Durchführung

Peltier-Element 15 cm vor der Wärmebildkamera aufbauen. Der Untergrund sollte isolierend sein. Stromregler des Netzgerätes auf 0 A stellen. Stromversorgung einschalten und Strom auf ca. 2 A einstellen. Der Spannungsregler muss auf einen Wert von ca. 12 V eingestellt sein, damit der Strom auch fließen kann. Nach Erreichen eines thermischen Gleichgewichts erfolgt der Start der Wärmebild Messung.
Verbrennungsgefahr!

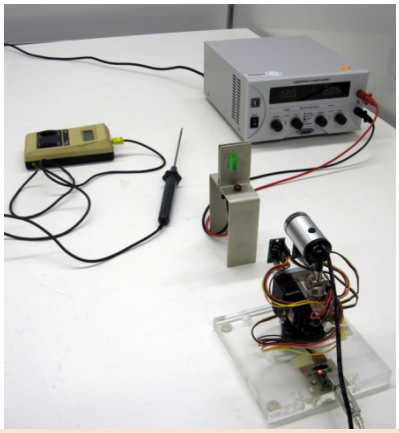


Abb.: Peltier-Element mit Stromversorgung, Temperaturmessgerät und Wärmebildkamera

Ergebnisse und Auswertung

Nach einer Wartezeit von ca. 5 min stellt sich ein Temperaturgleichgewicht am Peltier-Element (Halbleiter) ein. Dieser Wert ist auch von einer guten Isolierung der Wärmeleitschenkel zum Untergrund abhängig. Durch Anlegen eines Stroms erwärmt sich die eine Seite, während sich die gegenüberliegende Seite abkühlt. Hervorgerufen wird der Effekt durch np-Halbleiterübergänge, bei denen Elektronen in ein höheres Energieniveau gelangen (Abkühlung) und nach dem np-Übergang ihr ursprüngliches Niveau wieder erreichen – diesmal unter Abgabe von Wärme (Erwärmung). Durch Umkehren der Polarität ändert sich auch die Richtung des Wärmestroms. Prinzipiell ist der Peltier-Effekt die Umkehrung des thermoelektrischen Effekts.

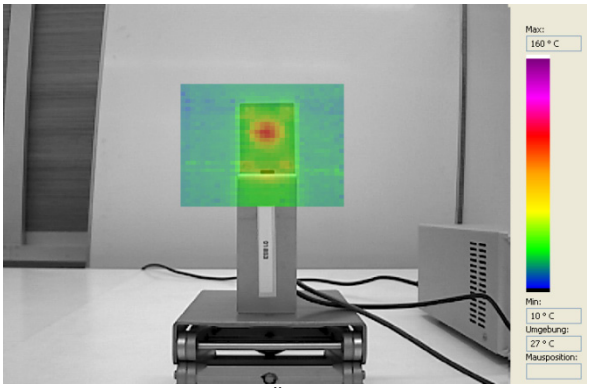


Abb.: Peltier-Element, Überlagerung des sichtbaren Bereichs mit dem Thermobild

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Kühlboxen

Längenausdehnung im Draht

Fragestellung

Wie stark dehnt sich ein Draht bei Erwärmung aus?

Material

- Konstantandraht (2,4 Ω/m und Ø = 0,5 mm)
- 2 Isolierstellen
- Massestück (30 g)
- Spannungsquelle (bis 25 V/5 A)
- Lineal

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

Durchführung

Auf einer optischen Bank werden zwei Isolatoren befestigt. Dazwischen ist ein Konstantandraht gespannt. Der kalte Draht (72 cm) wird mit einem Gewicht von 30 g belastet. Die Wärmebildkamera wird nun eingeschaltet. Am Netzgerät den Spannungsregler in Mittelstellung und den Stromregler auf 0 A bringen und das Gerät einschalten. Den Strom maximal auf 2,5 A einstellen und den Draht beobachten. Netzgerät ausschalten und den Draht weiterhin beobachten.

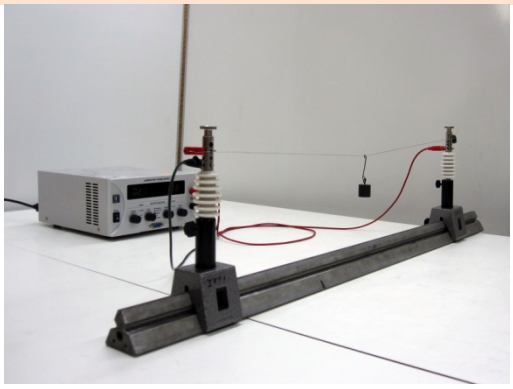


Abb.: Ein zwischen Isolierklemmen eingespannter Draht wird mit Massestücken belastet.

Ergebnisse und Auswertung

Die Leistung, die an dem Widerstandsdraht abfällt, wird in Wärme umgewandelt und führt zu einer Ausdehnung des Drahtes. Durch das Gewicht kann die Verlängerung des Drahtes als Hub dargestellt werden. Nach dem Abschalten des Netzgerätes kühlt der Widerstandsdraht wieder ab und verkürzt sich wieder – das Gewicht wird wieder nach oben gezogen.

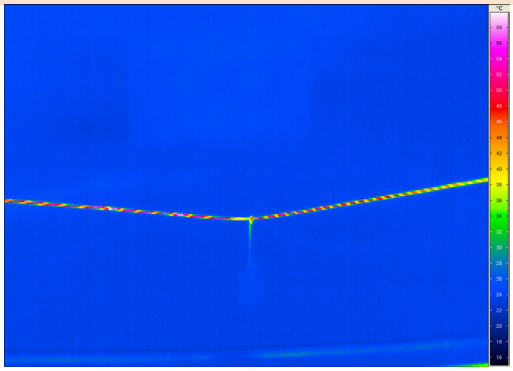


Abb.: Beim Anlegen der Spannung erhöht sich die Temperatur. Das Massestück zieht den Draht nach unten.

Anmerkungen

Erfolgt durch die Dehnung des Drahtes ein Überschreiten des Elastizitätsmoduls, wird der Draht dauerhaft verformt und kann nicht mehr seine ursprüngliche Länge erreichen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec (ohne Auswertung) Flir (ohne Auswertung)	Ausdehnung von Bahnschienen

Thermoelement

Fragestellung

Wie kommt eine Thermospannung zustande?

Material

- Konstantandraht (7 Ω/m und Ø = 0,5 mm)
- Stahldraht (0,7 Ω/m und Ø=0,5 mm)
- 2 Bananenklemmen
- 2 Bechergläser mit Wasser
- Heizplatte
- Eiswürfel
- Voltmeter
- 2 Temperaturfühler

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

Durchführung

Zwei Stahldrähte werden mit einer Bananenklemme versehen. Das jeweils andere Ende des Stahldrahtes wird mit einem freien Ende des Konstantandrahtes eng verdrillt. Das eine verdrillte Drahtende wird in das Becherglas mit Wasser getaucht und auf einer Heizplatte erhitzt. In das andere Becherglas werden Eiswürfel in das Wasser gegeben und darin das zweite, verdrillte Drahtende eingetaucht.
Die Bananenstecker in das Voltmeter stecken. Mit dem Thermometer die Wassertemperatur bestimmen.

Abb.: Anordnung der Drähte für die Messung der Thermospannung

Ergebnisse und Auswertung

Je höher die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Bechergläsern ist, desto höher ist die am Voltmeter angezeigte Thermospannung.
Beispiel: Kaltes Wasser 5 °C, heißes Wasser 61 °C → Thermospannung 2,9 mV.
Kaltes Wasser 5 °C, heißes Wasser 53 °C → Thermospannung 2,5 mV.
Am besten mit Hilfe einer Tabelle auswerten.
Werden beide verdrillten Enden in dasselbe Glas gesteckt, so ist die Thermospannung 0 mV.

Anmerkungen

Der Bau des Thermoelementes kann auch durch die Schüler selbst vorgenommen werden. Eventuelle Isolation des Drahtes vorher entfernen.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Prinzip der Thermosäule

Thermo-Elektromagnet

Fragestellung

Wie kann man mittels einer Temperaturdifferenz elektrischen Strom erzeugen?

Material

- Thermoelektromagnet (Inv.-Nr. 01213)
- Mit Wasser gefülltes Becherglas (500 ml)
- Eiswürfel (ein ganzer Beutel, ca. 10 Stück)
- Bunsenbrenner
- 2 Laborboys
- Streichhölzer

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

Durchführung

Becherglas mit Eiswürfel füllen und Kupferstab eintauchen. Das freie Ende des Kupferstabes über die Flamme des Bunsenbrenners bringen und aufheizen. Nach ca. 5 min vorsichtig versuchen (Sicherung des Massestücks mit der zweiten Hand) das 5-kg-Massestück anzuheben.

Abb.: Anheben des 5 kg Massestücks

Ergebnisse und Auswertung

Der Kupferstab führt durch ein zweigeteiltes Eisenmassestück und ist durch ein Konstantanstück kurzgeschlossen. Kupfer und Konstantan bilden ein Thermoelement und dessen Spannung treibt einen Thermokurzschlussstrom, der nur durch den spezifischen Widerstand begrenzt wird. Die Energie bzw. die Höhe des Thermostroms in Abhängigkeit von der Thermospannung folgt aus der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Kupferenden und kann einen Kurzschlussstrom von ca. 100 A erzeugen. Das daraus erzeugte Magnetfeld reicht aus, um das 5 kg Massestück anzuheben.

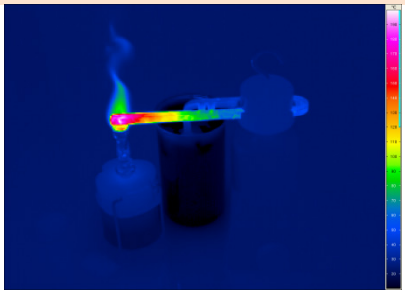


Abb.: Der Kupferstab wird auf der einen Seite erhitzt, auf der anderen Seite mit Eis gekühlt. Durch den schwer zu bestimmenden Emissionsgrad des Kupferstabes kann die tatsächliche Temperatur von der angezeigten deutlich abweichen.

Anmerkungen

Massestück mit der zweiten Handsichern. Verbrennungsgefahr! Vorsicht mit langen Haaren!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 20 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	

Strom aus Wärme erzeugen

Fragestellung

Wie wird mithilfe unterschiedlicher Temperaturbereiche Strom erzeugt?

Material

- Thermogenerator
- Spannungsmesser
- Wasserkocher
- Eiswürfel

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

Durchführung

Zwei metallisch unterschiedliche Drähte werden miteinander verlötet (Thermoelement) und erzeugen eine Thermospannung. Werden viele davon zusammengeschaltet erhält man ein Peltier Element, wie im vorliegenden Fall, dem man unterschiedliche Wärmequellen anbietet zur Stromerzeugung.

Durchführung:
Von dem Thermogenerator einen Schenkel in kochendes Wasser und den anderen in Eiswürfelwasser stellen.
1.Messen Sie die Temperaturdifferenz.
2.Messen Sie die Thermospannung mit dem Spannungsmesser.
3.Wie müssen die Messleitung beschaffen sein?
4.Welche Auswirkung kann beobachtet werden und welcher Energieform entspricht sie?

Abb.: Thermogenerator mit kochendem und Eiswasser.

Ergebnisse und Auswertung

Der thermoelektrische Effekt (Seeback Effekt) tritt als Thermospannung zwischen zwei Leitern unterschiedlicher Metalle auf, die an Ihren offenen Enden unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sind. Der umgekehrte Effekt ist der Peltier Effekt, bei dem Strom durch das Thermoelement durchgeleitet wird und eine Temperaturdifferenz erzeugt.

Anmerkungen

Achtung! Kochendes Wasser – Verbrühungsgefahr!

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

Reibung

Fragestellung

Welches Tuch erzeugt mehr Reibungswärme?

Material

- InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Notebook mit Software für InfraTec-Kamera
- 2 Klötze zum Umwickeln
- Rolltisch (raue Oberfläche)
- Stoppuhr
- Baumwolltuch
- Polyamid (30%)-/Polyesterpoliertuch (70%)

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

Durchführung

Es wird ein Laborwagen mit rauer Oberfläche gewählt. Ein grifffester Klotz aus Holz oder Kunststoff wird mit unterschiedlichen Tüchern umwickelt. Nun wird die Wärmebildkamera eingeschaltet. Ein Schüler reibt mit unterschiedlichen Tüchern – mit gleichem Anpressdruck – über den Laborwagen. Nach jeweils 30 s wird die Temperatur der geriebenen Fläche mit der Wärmebildkamera gemessen. Die Messung muss rasch erfolgen, da die Oberfläche schnell wieder abkühlt.

Abb.: Reibung mit einem Tuch

Ergebnisse und Auswertung

Die beiden Wärmebilder werden miteinander verglichen. Beide Tücher haben deutliche Reibungswärme erzeugt. Das Baumwolltuch 2 °C weniger als das Polyamid-/Polyestertuch. Die Baumwolle weist eine geringere Rauigkeit auf als das Polyamid-/Polyestertuch.

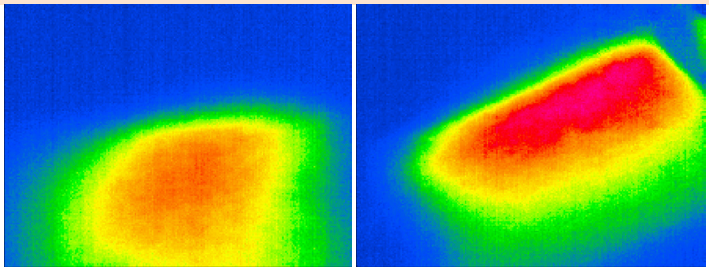


Abb.: Wärmebild nach 30 s und bei einer Umgebungstemperatur von 22°C;
links: Baumwolltuch 30°C (max.); rechts: Polyamid-/Polyestertuch 32°C (max.)

Anmerkungen

Tisch vor der Messung nicht anfassen – wegen des Wärmeabdrucks.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 10 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Reibungswärme beim Putzen mit Tüchern

Wärmeausdehnung

Fragestellung

Dehnen sich auch Metalle aus?

Material

- Notebook mit Software für Kamera
- Fakultativ: InfraTec-Kamera mit Zubehör (Stativ, …)
- Kugel und Ring (Inv.-Nr. 01876)
- Bunsenbrenner
- Zange für heiße Kugel

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

Durchführung

Die Kugel wird über einem Bunsenbrenner erhitzt (1 min) und mit Hilfe einer Zange auf einen Metallring gelegt. Nach einiger Zeit fällt die Kugel durch die Öffnung.

Abb. 97: Kugelfallversuch in Abhängigkeit von der Erwärmung an einem Metallring

Ergebnisse und Auswertung

Durch die Erwärmung dehnt sich die Eisenkugel aus und passt nicht mehr durch die Ringöffnung. Nach dem Abkühlen verringert sich ihr Durchmesser wieder und sie fällt durch den Ring.

Abb.: Nach dem Abkühlen der Kugel

Anmerkungen

Verbrennungsgefahr! Vorsicht mit langen Haaren!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		Dehnungsfugen in Schienen und Brücken

Thermische Ausdehnung von Luft

Fragestellung

Wie lässt sich die thermische Ausdehnung von Luft nachweisen?

Material

- Rundkolbengefäß mit Stopfen und Schlauchzuführung
- Mit Wasser gefülltes Becherglas

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

Durchführung

Kolbengefäß mit einem Stopfen, durch den ein Glasröhrchen führt, in ein mit Wasser gefülltes Gefäß eintauchen. Mit beiden Händen den Kolben umfassen und warten bis sich Luftblasen im Wasser zeigen.

Ergebnisse und Auswertung

Mit der Erwärmung der Luft durch die umfassenden Hände am Kolbengefäß, dehnt sich die Luft aus und erzeugt einen Überdruck, der die Luft aus dem Röhrchen drückt und die Luftblasen im Wasser entstehen lässt.

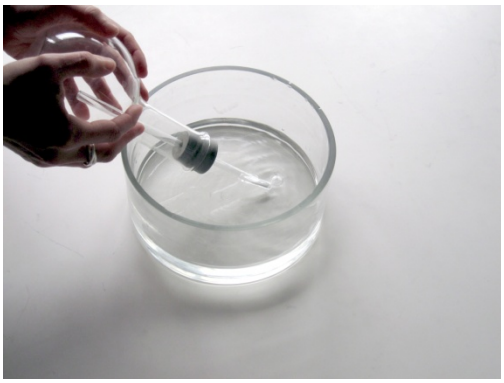


Abb.: Luftblasen steigen im mit Wasser gefülltem Gefäß auf.

Anmerkungen

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min	InfraTec Flir	Heißluftballon

Bimetallschalter

Fragestellung

Wie funktioniert ein Bimetallschalter?

Material

- Bimetallschalter Fe/Zn 02852
- 2 gleiche Glühlampen (z. B. 6 V/3 W)
- Steckplatte von Leybold
- 2 Steckverbindungen
- 5 Bananenkabel
- Spannungsquelle (5 V)
- Wärmequelle: Glühlampe (60 W)

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

Durchführung

Ein Stromkreis mit einem Bimetall-Wechselschalter, der wahlweise die Glühlampe in dem einen oder dem anderen Zweig zum Leuchten bringt, wird an eine Stromversorgung angeschlossen. Mit Hilfe einer Glühlampe wird der Bimetallschalter berührungsfrei erwärmt. Dadurch öffnet sich nach einiger Zeit der Bimetallschalter, der zweite Stromkreis wird geschlossen und die zweite Glühlampe leuchtet nun ebenfalls. Entfernt man die Lampe, schließt der Schalter nach kurzer Abkühlphase wieder.

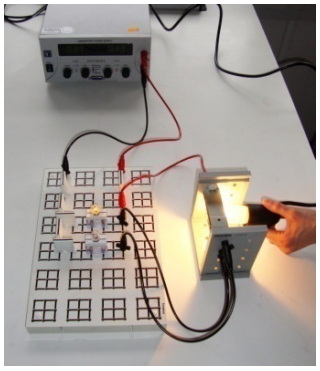


Abb.: Aufbau des Bimetallschalters

Ergebnisse und Auswertung

Die Erwärmung des Bimetallschalters führt zu unterschiedlichen Ausdehnungen der beiden Schaltermaterialien: Der Schalter wird geöffnet. Zwei Magnete beschleunigen den Schaltvorgang, damit der Kontaktverschleiß möglichst gering bleibt.

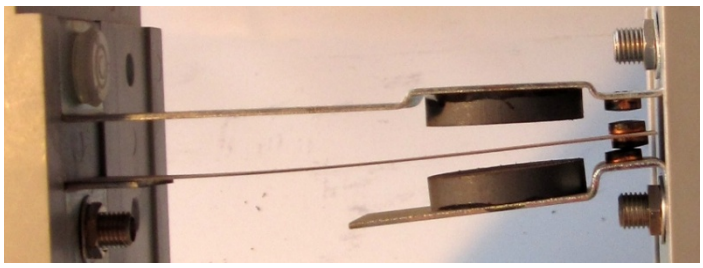


Abb.: Der Bimetallschalter wird durch die Glühlampe erhitzt.

Anmerkungen

Glühlampe unter den langen Schenkel des Kontaktes halten.

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 5 min Auswertung: 5 min		Temperatursicherung bei Kaffeemaschinen mit Hilfe von Bimetallschaltern

Volumenausdehnung verschiedener Flüssigkeiten

Fragestellung

Wovon hängt die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten ab?

Material

- Wasser
- Spiritus
- Wasserkocher
- Becherglas mit Wasser

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

- Stopfen mit Loch und Steigröhrchen
- 2 Reagenzgläser
- 2 Halteklammern für Reagenzgläser
- Stoppuhr
- Filzschreiber

Durchführung

Zwei Reagenzgläser gleich hoch mit Spiritus und Wasser füllen, den Flüssigkeitsstand markieren. Auf beide Reagenzgläser wird ein Stopfen mit Loch gesetzt.

Wasser kochen und mit kaltem Wasser so mischen, dass das eingefüllte Wasser im Becherglas 60 °C erreicht. Beide Reagenzgläser in das Wasserbad stellen, bis der Flüssigkeitsstand sich in beiden Röhrchen nicht mehr ändert. Flüssigkeitsstand markieren.

Abb.: Zubehör des Ausdehnungsversuchs

Ergebnisse und Auswertung

Spiritus dehnt sich bei Erwärmung deutlich stärker aus als Wasser.

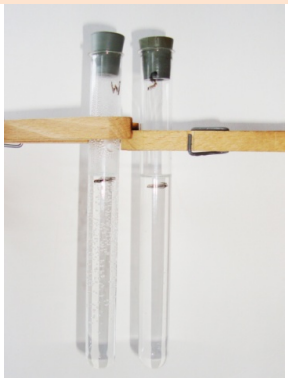


Abb.: Markierung des Flüssigkeitsstandes vor der Erwärmung

Anmerkungen

Verbrühungsgefahr!

Zeit	Kamera	Anwendung/Alltag
Einleitung: 5 min Durchführung: 15 min Auswertung: 5 min		Flüssigkeitsthermometer

Übersicht über die vorgestellten Versuche

Nr.	Versuch	Kamera	Zeit	Erklärung	Thema
NI1	**Gemäldeuntersuchung mit Reflexionsmethode**	USB-Kamera ohne IR-Filter	20 min	Ein Original und eine Fälschung können unterschieden werden.	Nahe Infrarotstrahlung
NI2	**Gemäldeuntersuchung mit Transmissionsmethode**	USB-Kamera ohne IR-Filter	20 min	Die Unterzeichnung wird sichtbar gemacht.	Nahe Infrarotstrahlung
NI3	**Fotoapparat gegen Wärmebildkamera**	Fotoapparat USB-Kamera InfraTec Flir	10 min	Nahe Infrarotstrahlung kann nur der Fotoapparat erkennen.	Nahe Infrarotstrahlung
NI4	**Infrarot-Diode**	Fotoapparat	5 min	Strahlung einer Fernbedienung kann mit einem Fotoapparat gesehen werden.	Nahe Infrarotstrahlung
WS1	**Wärmeabstrahlung unterschiedlicher Tassen**	InfraTec, Flir	10 min	Unterschiedliche Abstrahlung sichtbar machen.	Wärmestrahlung
WS2	**Kamera gegen Temperaturfühler**	InfraTec, Flir	15 min	Es werden unterschiedliche Temperaturwerte gemessen.	Wärmestrahlung
WS3	**Wärmestrahlung verschiedener Oberflächen**	InfraTec, Flir	10 min	Verschieden lackierte Plastikbecher haben verschiedene Emissionsgrade.	Wärmestrahlung
WS4	**Unterschiedliche Temperaturen**	InfraTec, Flir	10 min	Die Farbgebung der Wärmebildkamera hängt von der Wassertemperatur ab.	Wärmestrahlung
WS5	**Verschiedene Gegenstände**	InfraTec, Flir	10 min	Je höher der Temperaturunterschied, desto besser sind die Gegenstände zu erkennen.	Wärmestrahlung
WS6	**Reflexion**	InfraTec, Flir	15 min	Schwarzer Strahler spiegelt sich in einer Kupferplatte. Wärmebildkamera kann das Spiegelbild aufnehmen.	Wärmestrahlung
WS7	**Wärmereflexion**	InfraTec, Flir	5 min	Ein warmer Becher spiegelt sich auf dem Tisch.	Wärmestrahlung
WS8	**Rettungsdecke**	InfraTec, Flir	10 min	Die silberne Seite einer Rettungsdecke reflektiert Strahlung besser.	Wärmestrahlung

WS9	**Emissionsgrad einer metallisierten Folie**	InfraTec, Flir	20 min	Der Emissionsgrad lässt sich mit einem Peltier-Element bestimmen.	Wärmestrahlung
WS10	**Bügeleisen**	InfraTec, Flir	5 min	Die Temperatur eines Bügeleisens lässt sich mit der Thermokamera nur schwer erfassen.	Wärmestrahlung
WS11	**T-Shirts**	InfraTec, Flir	10 min	Schwarze Kleidung absorbiert mehr sichtbare Strahlung.	Wärmestrahlung
WS12	**Im Dunkeln sehen**	InfraTec, Flir	5 min	Thermokamera kann Objekte auch erkennen, wenn es dunkel ist.	Wärmestrahlung
WS13	**Kerze**	InfraTec, Flir	10 min	Die Temperatur der Flamme ist mit der Wärmebildkamera nicht exakt bestimmbar.	Wärmestrahlung
WS14	**Leslie-Würfel**	InfraTec, Flir	15 min	Verschiedene Oberflächen haben unterschiedliche Abstrahlungsleistung.	Wärmestrahlung
WS15	**Radiometer**	-	5 min	„Lichtmühle“ dreht sich.	Wärmestrahlung
WS16	**Taschenwärmer**	Wärmebildkamera optional	5 min	Eine exotherme Reaktion.	Wärmestrahlung
WS17	**Aufteilung des Spektrums**	-	10 min	Strahlung der Halogenlampe ist im infraroten Bereich am stärksten.	Wärmestrahlung
WS18	**Glühender Draht**	Wärmebildkamera optional	10 min	Ab 500 °C kommt zur infraroten Strahlung auch sichtbare Strahlung hinzu.	Wärmestrahlung
WS19	**Heizstrahler mit schwarzer und weißer Oberfläche**	InfraTec, Flir	10 min	Beide Strahler erhitzen sich auf die gleiche Temperatur .	Wärmestrahlung
WS20	**Infrarot-Thermometer**	-	5 min	Mit dem Infrarot-Thermometer lassen sich Temperaturen aus der Entfernung bestimmen.	Wärmestrahlung
WS21	**Bewegungsmelder mit Wärmesensor**		10 min	Kann ein Infrarot Bewegungsmelder überlistet werden?	Wärmestrahlung
WD1	**Thermohaus**	InfraTec, Flir	15 min	Der Wärmeverlust ist an den Fenstern am größten.	Wärmedurchgang
WD2	**Transmissionsunterschiede**	InfraTec, Flir	15 min	Die Durchlässigkeit unterschiedlicher Materialien für Wärmestrahlung wird getestet.	Wärmedurchgang

WD3	**Folie im Strahlengang**	InfraTec, Flir	20 min	Die Durchlässigkeit für Wärmestrahlung nimmt mit der Schichtdicke (exponentiell) ab.	Wärmedurchgang
WD4	**Kleidung**	InfraTec, Flir	10 min	Kleidung reduziert die Abgabe von Wärmestrahlung.	Wärmedurchgang
WD5	**Isolierung**	InfraTec, Flir	15 min	Materialien isolieren unterschiedlich gut.	Wärmedurchgang
WD6	**Becherglas**	InfraTec, Flir	10 min	Die Erwärmung des Glases dauert länger als die Erwärmung der Wasseroberfläche.	Wärmedurchgang
WL1	**Wasserkühlung**	InfraTec, Flir	5 min	Bei gleicher Wasser- und Lufttemperatur ist eine nasse Hand kälter als eine Hand, die nur mit der Luft in Kontakt ist.	Wärmeleitung
WL2	**Wärmeregulierung des menschlichen Körpers**	InfraTec, Flir	5 min	Schwitzen kühlt den Körper ab.	Wärmeleitung
WL3	**Verschiedene Stäbe im Wasserbad**	InfraTec, Flir	10 min	Je nach Material erwärmen sich Stäbe unterschiedlich schnell.	Wärmeleitung
WL4	**Kältespray**	InfraTec, Flir	5 min	Speicherung der Temperatur auf einer Overheadfolie	Wärmeleitung
WL5	**Wärmeleitung in Metall**	Wärmebildkamera optional	5 min	Streichhölzer entzünden sich, wenn die Zündtemperatur erreicht ist.	Wärmeleitung
WL6	**Wärmeleitung subjektiv**	-	10 min	Gefühlte Wärmeleitung	Wärmeleitung
WL7	**Wärmeleitfähigkeit von Wasser**	Wärmebildkamera optional	15 min	Es wird beobachtet, wie lange es dauert, bis ein Eiswürfel durch Wärmeleitung schmilzt.	Wärmeleitung
WSÖ1	**Konvektion im Becherglas**	InfraTec, Flir	10 min	Chaotische Konvektion wird mit der Wärmebildkamera sichtbar gemacht.	Wärmeströmung
WSÖ2	**Modell einer Zentralheizung**	InfraTec, Flir	10 min	Die fortschreitende Erwärmung wird sichtbar.	Wärmeströmung
WSÖ3	**Konvektion in Rechteckröhre**	Wärmebildkamera optional	10 min	Wasser zirkuliert.	Wärmeströmung
WSÖ4	**Konvektion**	-	10 min	Flasche mit warmem Wasser in Becken mit kaltem Wasser	Wärmeströmung

WSÖ5	**Wärmeleitfähigkeit von Wasser**	InfraTec, Flir	15 min	Schichtung des Wassers mit Eiswürfel und Tauchsieder	Wärmeströmung
WE1	**Wärmepumpe**	InfraTec, Flir	10 min	Demonstrationsmodell einer Wärmepumpe	Wärme aus Elektrizität
WE2	**Widerstände**	InfraTec, Flir	10 min	Erwärmungen eines Widerstandes	Wärme aus Elektrizität
WE3	**Glühlampe gegen Energiesparlampe**	InfraTec, Flir	15 min	Bei gleicher Spannung (230 V Wechselspannung) und gleichem Leistungskennwert wird die Glühlampe viel wärmer.	Wärme aus Elektrizität
WE4	**Peltier-Element**	InfraTec, Flir	15 min	Durch Strom wird ein Temperaturunterschied erzeugt.	Wärme aus Elektrizität
WE5	**Längenausdehnung eines Drahtes**	Wärmebildkamera optional	10 min	Ein stromdurchflossener Draht wird warm und dehnt sich aus.	Wärme aus Elektrizität
WE6	**Thermoelement**	Wärmebildkamera optional	10 min	Je größer eine Temperaturdifferenz, desto größer ist die Thermospannung.	Wärme aus Elektrizität
WE7	**Thermo-Elektromagnet**	Wärmebildkamera optional	20 min	Stromerzeugung durch einen Wärmeunterschied	Wärme aus Elektrizität
WE8	**Strom aus Wärme erzeugen**	-	10 min	Stromerzeugung durch einen Wärmeunterschied	Wärme aus Elektrizität
WR1	**Reibungsversuch**	InfraTec, Flir	10 min	Die durch Reibung entstehende Wärme wird sichtbar gemacht.	Wärme durch Reibung
WA1	**Wärmeausdehnung**	-	5 min	Eine Metallkugel fällt durch einen Ring, wenn sie sich abkühlt.	Wärmeausdehnung
WA2	**Thermische Ausdehnung von Luft**	Wärmebildkamera optional	5 min	Luft wird mit der Hand erwärmt.	Wärmeausdehnung
WA3	**Bimetallschalter**	-	5 min	Stromkreis wird mit Wärme geregelt.	Wärmeausdehnung
WA4	**Volumenausdehnung verschiedener Flüssigkeiten**	-	15 min	Wasser und Spiritus dehnen sich unterschiedlich stark aus.	Wärmeausdehnung