

MESSUNG VON TEMPERATUREN

Aufgabe 1: *Die Messung von Temperaturen erfolgt prinzipiell indirekt durch Messung einer anderen physikalischen Größe. Beschreiben Sie unter diesem Aspekt drei verschiedene Typen von Thermometern und erläutern Sie die jeweils zugrunde liegende physikalische Gesetzmäßigkeit!*

Bei Thermometern handelt es sich um Messgeräte zur Bestimmung der Temperatur. Es gibt eine Vielzahl von Thermometerarten und Bauformen, die nach unterschiedlichen physikalischen Prinzipien arbeiten.

a) Temperaturmessung bei Ausdehnung durch Erwärmung

Zur Temperaturmessung werden häufig *Flüssigkeitsthermometer* genutzt. Sie bestehen aus einem Thermometergefäß, einem dünnen Anzeigeröhrchen und einer Skala. Je nach Verwendungszweck kann die Thermometerflüssigkeit Quecksilber (heute eher nicht mehr) oder gefärbter Alkohol sein. Aufgrund der Eigenschaften von Wasser ist es als Thermometerflüssigkeit nicht geeignet. Die Wirkungsweise eines Flüssigkeitsthermometers beruht darauf, dass sich das Volumen einer Flüssigkeit bei Erhöhung der Temperatur ausdehnt und bei Verringerung der Temperatur verringert. Je höher die Temperatur ist, desto höher steht die Flüssigkeitssäule im Anzeigeröhrchen. Es gilt also:

$$V = V_0 (1 + \Delta\theta)$$

Bei dem Thermometer, dessen Aufbau auf Galileo Galilei zurückgehen soll, befinden sich Kugeln in einer Flüssigkeit. Die Dichte der Flüssigkeit und die mittlere Dichte der Kugeln liegen eng beieinander, wobei diese mittlere Dichte der Kugeln unterschiedlich ist. An den Kugeln befinden sich kleine Schilder mit unterschiedlichen Temperaturen. Bei einer bestimmten Temperatur, z.B. bei 22 °C, sind die Dichten so gewählt, dass sich ein Teil der Kugeln unten befindet, bei ihnen also die Auftriebskraft kleiner ist als die Gewichtskraft. Das sind die Kugeln für kleinere Temperaturen als die Umgebungstemperatur. Ein anderer Teil der Kugeln befindet sich oben. Bei ihnen ist die Auftriebskraft größer als die Gewichtskraft. Das sind die Kugeln für eine höhere Temperatur als die Umgebungstemperatur. Ändert sich die Temperatur, so ändern sich auch die Dichten, da diese temperaturabhängig sind. Da es vom Verhältnis der Dichten abhängig ist, ob ein Körper sinkt oder steigt, bewegen sich Kugeln nach unten oder nach oben. Die Temperatur lässt sich an der Kugel ablesen, die gerade noch oben schwimmt.

Das *Gasthermometer* ist neben dem Flüssigkeitsthermometer ein ebenso recht beliebtes Temperaturmessgerät. Gasthermometer gehören zu den historisch ersten Thermometern. Sie sind ähnlich wie Flüssigkeitsthermometer aufgebaut und dienen der Kalibrierung anderer Thermometer. Sie arbeiten mit fast idealen Gasen (z.B. Helium, Luft) und nutzen das ideale Gasgesetz:

$$p V = \nu R T$$

Die Wirkungsweise des Gasthermometers kann verschieden sein. Zum einen ist es möglich die Temperatur in Bezug auf die Änderung des Volumens anzugeben. Hier befindet sich das Gas in einem durch einen Quecksilbertropfen abgeschlossenen Bereich. Bei Erhöhung der Temperatur dehnt sich das Gas aus, bei Verringerung der Temperatur verringert sich sein Volumen. Hier gilt:

$$V(T) = V_0 (T / T_0)$$

[Gay-Lussac]

Die Temperatur kann dann folglich in Höhe des Quecksilbertropfens abgelesen werden. Es gibt allerdings auch Gasthermometer mit konstantem Volumen. Bei diesen dient die Änderung des Drucks als Maß für die Änderung der Temperatur. Es gilt:

$$p(T) = p_0 (T / T_0)$$

Ein *Bimetallthermometer* besteht aus einem spiralförmigen Bimetallstreifen, an dessen Ende sich ein Zeiger befindet, und einer Skala. Die Biegung des Bimetallstreifens ändert sich aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnung der beiden Metalle, aus denen er besteht, mit der Temperatur. Es wird also bei diesem Thermometer der Effekt genutzt, dass sich verschiedene Metalle bei gleicher Temperaturänderung unterschiedlich ausdehnen. Es gilt:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta \vartheta$$

b) Temperaturmessung durch Widerstandsänderung

Bei *elektronischen Thermometern* wird die starke Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von speziellen Halbleitermaterialien (Heißleitern, Kaltleitern) genutzt. Nutzt man z.B. einen Heißleiter, so gilt: Mit Erhöhung der Temperatur verringert sich der elektrische Widerstand des Heißleiters. Geht man von einer konstanten Spannung aus, so vergrößert sich mit Verkleinerung des elektrischen Widerstandes die Stromstärke, denn für $U=\text{konst.}$ gilt:

$$I \sim 1 / R$$

Die Stromstärke ist somit ein Maß für die Temperatur. Diese wird digital auf einem Display angezeigt. Die Vorteile solcher Thermometer bestehen darin, dass man zum einen den Messfühler sehr klein bauen kann und zum anderen der Messfühler sich in größerer Entfernung vom Display befinden kann. Der Messfühler ist dann entweder durch eine Leitung oder per Funk mit dem Display verbunden.

Verwendet man für den Messfühler statt speziellen Halbleitern metallische Widerstände, dann spricht man von einem *Widerstandsthermometer*. Die Wirkungsweise ist die gleiche wie bei einem elektronischen Thermometer.

c) Infrarotthermometer

Die Grundlage für ein Infrarotthermometer bildet das Stefan-Boltzmann-Gesetz. Nachdem die Gesamtstrahlungsleistung P für einen idealen schwarzen Körper von der absoluten Temperatur T (in Kelvin) und der Fläche A (in m^2) abhängt. Mit der Stefan-Boltzmann-Konstanten σ (in $\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$) ist:

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

Die Besonderheit an dieser Thermometerart ist die berührungslose Temperaturmessung. Vorteile dieser Messtechnik sind u.a. die besonders schnelle Messung von Temperaturen und die problemlose Messung bewegter Objekte.

Aufgabe 2: *Diskutieren Sie eine der folgenden Alltagsäußerungen im Hinblick auf ihre Einordnung in physikalische Fachsprache und physikalischen Inhalten:*

„Morgen sind die ersten Vorboten sommerlicher Wärme zu erwarten.“ (I)

„Die gefühlte Temperatur lag aber wesentlich niedriger.“ (II)

„Der Pullover wird mir jetzt zu warm, ich werde ihn ausziehen.“ (III)

Im Folgenden beziehe ich mich auf die Aussage (II): „Die gefühlte Temperatur lag aber wesentlich niedriger“.

Kommen wir mit Körpern, die unterschiedlich warm oder kalt sind, in direkten Kontakt oder in deren Nähe, so registriert und meldet der Wärmesinn unserer Haut jeweils unterschiedliche Wärmeempfindungen. Das Empfinden unserer Haut ist aber ein subjektiver Vorgang, der sehr unterschiedlich ausfallen kann. Somit kann z. B. eine Tasse Tee, dem einen als noch sehr heiß, dem anderen als lauwarm vorkommen. In unserer Alltagssprache beschreiben wir Gegenstände z.B. als eiskalt, kalt, kühl, lauwarm, warm, heiß oder glühend heiß. Mit diesen alltäglichen Begriffen wird die Temperatur des jeweiligen Körpers (auch Luft) nur sehr ungenau beschrieben. Daraus kann man folgern, dass gefühlte Temperaturen, die auf ein Wärmeempfinden der jeweiligen Person rückzuführen ist, kaum eindeutig messbar sind. D.h. eine Temperaturmessung, die sich auf ein persönliches Empfinden bezieht, ist in der Physik höchst ungeeignet. Nur sehr extreme Temperaturen (hohe/niedrige Temperaturen) können unsere Sinneszellen relativ gut auseinander halten. So wird ein großer Bevölkerungsquerschnitt einen Eiswürfel als eiskalt und ein Feuer als heiß bezeichnen. Mit diesen Bezeichnungen können jedoch keine konkreten Temperaturwerte festgelegt werden. Dazu benötigt man ein Messgerät, das zumindest eine Temperaturänderung sichtbar macht (z.B. Thermoskop).

Wenn wir ein Stück Metall und ein Stück Holz berühren, die lange im gleichen Raum lagen, also die gleiche Temperatur haben, empfinden wir trotzdem das Metall als kalt und das Holz als warm. Das liegt daran, dass Metall ein guter Wärmeleiter ist, so dass von unserem Körper pro Zeit eine gewisse Wärmemenge abfließt, während das bei Holz nicht der Fall ist. Das bedeutet, dass wir nicht die Temperatur eines Körpers fühlen, sondern welche Wärmemenge Q pro Zeit von uns abfließt bzw. auf uns auffließt. Die Temperaturempfindung beim Anfassen von gleich warmen Gegenständen aus verschiedenen Material wird bei Schülern aber nur selten mit Wärmeleitungsvorstellungen erklärt. So kommen Schüler zu den falschen Vorstellungen „Metall leitet Kälte besser“, „Metall zieht Wärme mehr an“ oder „Kalt und warm sind Eigenschaften des Materials, d.h. Metalle sind kälter“.

Die Aussage „Die gefühlte Temperatur lag aber wesentlich niedriger“ könnte sich auf die Lufttemperatur beziehen. Sogar der Wetterbericht gibt ja mittlerweile außer der Lufttemperatur auch die gefühlte Temperatur an. Unter der gefühlten Temperatur versteht man dort die von einem Menschen wahrgenommene Umgebungstemperatur, die sich aufgrund verschiedener Faktoren oft stark von der gemessenen Lufttemperatur unterscheiden kann. Der Mensch gibt eine gewisse Wärmemenge pro Zeit an die Umgebung ab, bei Windstille rund 60 % über Wärmestrahlung sowie ungefähr 25 % über Verdunstung auf der Haut und über die Atmung. Die wesentlichsten Einflussfaktoren auf den Wärmehaushalt sind der Temperaturunterschied zwischen Luft und Körperoberfläche, die Größe der Körperoberfläche selbst, deren thermische Eigenschaften und der Grad der Strahlungseinwirkung von außen. Steht die Person im Wind, so wird ihr Körper proportional zur Windgeschwindigkeit stärker ausgekühlt bzw. aufgeheizt. Es spielen jedoch eine Vielzahl weiterer Faktoren eine Rolle, z.B. die Luftfeuchtigkeit. Zahlreiche Probleme geben Anlass zur negativen Kritik an der Verwendung, Genauigkeit und damit letztendlich am Sinn der gefühlten Temperatur, vor allem im Rahmen von Wetterberichten gegenüber einer meist unkritischen Öffentlichkeit.

Aufgabe 3: Die Schüler(innen) sollen innerhalb einer Unterrichtseinheit verschiedene Methoden zur Temperaturmessung kennen lernen. Skizzieren Sie diese Unterrichtseinheit nach Rahmensetzung durch Lernvoraussetzungen und Lernziele und unter Einbeziehung von Experimenten!

Lernvoraussetzungen:

- Die Schüler sind mit den alltäglichen Gebrauch von Temperaturangaben vertraut.
- Die Schüler kennen Schmelz- und Siedetemperatur des Wassers

Unterrichtsskizze mit Lernzielen:

Grobziel:

Die Schüler sollen verschiedene Methoden zur Temperaturmessung kennen lernen.

Feinziele:

Inhaltliche Ziele:

- Die Schüler sollen über die eigene Temperaturwahrnehmung staunen.
- Die Schüler sollen erkennen, dass mit der eigenen Wahrnehmung keine Temperaturmessung möglich ist.
- Die Schüler sollen Schmelz- und Siedepunkt des Wassers als Fixpunkte entdecken und nutzen.
- Die Schüler lernen weitere Möglichkeiten für den Bau von Thermometern kennen.

Soziale Ziele:

- Die Schüler sollen durch die Teamarbeit ihre Kommunikationsfähigkeiten fördern.
- Die Schüler stärken ihre Fähigkeiten des freien Redens, indem sie eine Art Referat über ihren Versuch halten. Damit wird auch ihre Fähigkeit eines strukturierten Vorgehens gefördert.

Unterrichtsverlauf:

Motivation:

Folie mit einem Wetterbericht für die nächsten Tage:

Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
28 °C 	27 °C 	30 °C 	32 °C 

Die Folie soll zu einem Lehrer-Schüler-Gespräch führen, indem die Frage nach der Temperaturmessung fokussiert wird.

Erarbeitung:

Die Demonstration eines Thermoskops (Lehrerversuch) mit anschließendem Lehrer-Schüler-Gespräch soll über die Funktionsweise und den Aufbau des Thermoskops aufklären.

E Thermoskop: (Lehrerexperiment)

Ein kleiner Rundkolben wird mit einem Gummistopfen verschlossen, in dem ein Glasröhrchen steckt. Der Kolben wird mit Wasser so weit gefüllt, dass beim Aufsetzen des Stopfens das Wasser in den unteren Teil des Glasröhrchens gedrückt wird. Der Kolben wird in kaltes Wasser gebracht und der Pegelstand im Röhrchen markiert, wenn er sich nicht mehr ändert. Der Kolben wird nun in heißes Wasser getaucht. Der Pegelstand wird erneut markiert, wenn er sich nicht mehr ändert. Der Versuch wird mit andern Röhrchen anderer Weiten und Flüssigkeiten wiederholt.

Beobachtungen: Pegel im Röhrchen steigt, wenn Kolben ins heiße Wasser getaucht wird. Bei dünnem Röhrchen ist der Pegelunterschied größer. Bei gleichem Röhrchen und unterschiedlicher Flüssigkeit hängt der Pegelunterschied von der Art der Flüssigkeit ab.

Im Folgenden sind die Schüler selbst gefragt. Im Schülerexperiment lernen sie eine andere Art der Temperaturmessung kennen.

E Wärmeempfinden (Schülerexperiment)

Material: 3 (möglichst gleichgroße) Schalen, Wasser, Wasserkocher, evtl. Eiswürfel

In Gruppen von 3 Schülern führen die Schüler selbstständig einen Versuch zur Temperaturmessung durch.

In drei Schalen befindet sich kaltes, lauwarmes und warmes Wasser. Die Schüler sollen zuerst eine Hand in die Schale, die mit kaltem Wasser gefüllt ist, halten und die andere Hand in die Schale mit warmen Wasser. Nach ungefähr 30 Sekunden, sollen die Schüler die Hände in die mit lauwarmen Wasser gefüllte Schale halten und ihre Empfindungen den Mitschülern in der Gruppe mitteilen. Der Versuch wird von jedem Schüler in der Gruppe ausgeführt und die Ergebnisse in der Gruppe zusammengetragen.

In einem Referat sollen die Schüler der einzelnen Gruppen kurz ihre Ergebnisse vortragen. Nach dem Vorstellen der Versuche sollen sie ihre Vorschläge zu einer vermutlich besseren Temperaturmessung äußern. In einem Lehrer-Schüler-Gespräch wird das Lehrerexperiment nochmals aufgegriffen und versucht zu verbessern. Die Schüler überlegen, wie man eine Skala zum Messen von Temperaturen an das Thermoskop anbringen kann und wie man diese Skala festlegen kann. Dabei sollen die Schüler auf bekannte Eigenschaften des Wassers zurückgreifen und sich so die sogenannten Fixpunkte selbstständig erschließen.

E Anbringen einer Celsius-Skala an das Thermoskop → Thermometer

Mit kleinen Hilfen des Lehrers sollen die Schüler eine Temperaturskala nach Celsius herstellen.

Wichtig ist bei der Herstellung der Temperaturskala die Festlegung zweier Fixpunkte. Im Falle der Celsiusskala ist es die Temperatur des schmelzenden Eises (0 °C). Der zweite Fixpunkt ist nach Celsius die Temperatur siedenden Wassers (100 °C).

Sicherung:

Die Ergebnisse aus den Versuchen von Lehrer und Schülern wird in einem Tafelbild festgehalten. Dabei ist auf eine sinnvolle Strukturierung der Versuche zu achten. (von der Wärmeempfindlichkeit zum Thermoskop zum Thermometer).

Vertiefung:

Als Vertiefung sollen die Schüler im Internet nach weiteren Methoden/Geräten der Temperaturmesstechnik suchen und ihre Ergebnisse vorstellen. Die vorgestellten Ergebnisse werden in einem Lehrer-Schüler-Gespräch zusammengefasst und in einem Hefteintrag festgehalten.