
2. Wärmelehre

2.1 Zusammenhang von Temperaturänderung und Volumenänderung von Körpern

Der Mensch hat kein Sinnesorgan für die quantitative Erfassung des Wärmezustandes eines Körpers. Das subjektive Wärmeempfinden reicht allenfalls zu einer qualitativen Aussage (warm, kalt, lau, heiß usw.) und ist von Umgebungsbedingungen abhängig (z. B. Jahreszeit). Zu einer genaueren Bestimmung der Temperatur eines Körpers sind Körper geeignet, deren physikalische Eigenschaften sich mit der Temperatur ändern. Solche Eigenschaften sind z. B. der elektrische Widerstand oder das Volumen.

Versuche:

V 1: Ein Streifen aus zwei aufeinander gewalzten Metallblechen krümmt sich beim Erwärmen nach einer Seite, beim Abkühlen nach der anderen.

V 2: Eine bei Zimmertemperatur gerade durch einen Ring passende Eisenkugel passt nicht mehr, wenn sie erhitzt wird.

V 3: Eine Glaskugel mit aufgesetztem Steigrohr wird mit Wasser gefüllt und erwärmt. Dabei steigt der Wasserspiegel.

V 4: Ein umgestülpter, luftgefüllter Glaskolben mit Steigrohr taucht ins Wasser und wird durch Berühren mit den Händen erwärmt.

E.: Aus dem Kolben entweichen Luftblasen und steigen im Wasser auf.

Körper dehnen sich im allgemeinen beim Erwärmen aus und ziehen sich beim Abkühlen zusammen.

Anwendungen:

1. Bimetallthermometer, Flüssigkeitsthermometer
2. Rollenlager bei Brücken
3. Ausdehnungs-Ausgleichsstücke bei Fernheizleitungen, Trennfugen
4. Gleiches Ausdehnungsverhalten von Eisen und Beton => keine Temperaturrisse in Eisenbeton
5. Anomalie von Wasser: größte Dichte bei 4 °C => Gewässern frieren von oben her
6. Das Volumen von Gasen hängt nicht nur von der Stoffmenge und der Temperatur, sondern auch vom Druck ab.

2.2 Zustandsformen von Körpern: fest, flüssig, gasförmig

Zustandsformen

Alle Stoffe bestehen aus kleinsten Teilchen, den Atomen und Molekülen. Dennoch tritt uns jeder Stoff je nach den äußeren Bedingungen in verschiedenen Zustandsformen entgegen, fest, flüssig oder gasförmig (Beispiel: Eis, Wasser, Wasserdampf).

Ein Festkörper hat ein bestimmtes Volumen und eine bestimmte Form (Gestalt). Volumen und Form können nur durch große Kräfte (Hämmern, Walzen usw.) geändert werden. Die Atome eines Festkörpers haften mit großer Kraft aneinander (Kohäsion). In den Festkörpern sind die Atome an bestimmte Lagen gebunden.

Flüssigkeiten haben zwar ein bestimmtes Volumen, aber keine feste Form. Die Teilchen (Moleküle bzw. Atome) sind leicht gegeneinander verschiebbar. Die Kohäsion führt zur Tropfenbildung. Ruhende Flüssigkeitsoberflächen bilden eine waagrechte Oberfläche.

Gase erfüllen jeden Raum, den man ihnen zur Verfügung stellt, haben also kein bestimmtes Volumen und keine selbständige Form. Die Gasteilchen haben weder feste Lagen noch einen bestimmten Abstand. Gase lassen sich leicht komprimieren.

Es gibt aber auch Zwischenformen:

Plastische Körper ändern ihre Gestalt bei mäßiger Krafteinwirkung und behalten die neue Form bei (Ton, Plastilin).

Elastische Körper ändern ebenfalls ihre Gestalt bei mäßiger Krafteinwirkung, kehren aber in die ursprüngliche Form zurück, wenn die Krafteinwirkung aufhört.

Zustandsform	Festkörper	Flüssigkeit	Gas
Eigenschaften	bestimmte Gestalt bestimmtes Volumen	keine bestimmte Gestalt bestimmtes Volumen	keine bestimmte Gestalt kein bestimmtes Volumen
Modellvorstellungen	räumliches Gitter	Kugeln im Glasbecher	Mückenschwarm
Beispiel	Eis	Wasser	Wasserdampf

Molekülbewegung und Brownsche Molekularbewegung

In allen Körpern bewegen sich die Moleküle dauernd regellos hin und her. Diese Molekülbewegung ist um so lebhafter, je höher die Temperatur ist.

Bei Gasen und Flüssigkeiten kann man sich die Molekülbewegung leicht vorstellen, da die Moleküle nicht an feste Plätze gebunden sind. Die Moleküle eines idealen Gases verhalten sich dabei wie vollkommen elastische Gummibälle, die ständig aneinander stoßen und von den Gefäßwänden abprallen. Bei Normalbedingungen erfährt ein Molekül einige Milliarden Stöße pro Sekunde, dazwischen liegt eine mittlere freie Weglänge von etwa $0,1 \mu\text{m}$.

Ein indirekter Nachweis für die Molekülbewegung (die Moleküle sind für eine direkte Beobachtung zu klein) gelingt im Lichtmikroskop durch die Beobachtung z. B. kleiner Rauchteilchen.

V.: Im Lichtmikroskop werden kleine Teilchen (Sporen, Rauchteilchen) beobachtet.

E.: Die Teilchen vollführen eine regellose, zuckende Bewegung, die um so heftiger ist, je höher die Temperatur ist.

Erklärung: Die Teilchenbewegung wird durch Stöße der Gasmoleküle auf diese Teilchen hervorgerufen. Offenbar bewegen sich die Gasmoleküle mit wachsender Temperatur ebenfalls rascher.

Die Brownsche Bewegung von kleinen Teilchen, die wir unter dem Mikroskop beobachten können, wird durch die ungeordnete Bewegung der Moleküle verursacht.

Kinetische Deutung der Temperatur

Im Gegensatz zu Gasen und Flüssigkeiten können die Atome bzw. Moleküle fester Körper ihre Plätze innerhalb des Körpers nicht verlassen; sie schwingen um ihre Ruhelage. Eine Temperaturzunahme bewirkt aber auch bei Festkörpern eine Zunahme der mittleren kinetischen Energie der Teilchen.

2.3 Wärmeleitung, Wärmeströmung, Wärmestrahlung

Erfahrungsgemäß übertragen heiße Körper von selbst Wärme an kalte Körper (aber nicht umgekehrt!). Dies ist manchmal erwünscht, manchmal nicht. Dabei sind drei Übertragungsmechanismen zu unterscheiden, Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung.

Wärmeleitung

V 1: Ein Eisennagel und ein Kupferdraht werden an einem Ende erhitzt, am anderen Ende festgehalten.

E.: Die Wärme verteilt sich beim Kupferdraht schnell über den ganzen Draht.

V 2: Wassertropfen schweben auf einer heißen Herdplatte auf einem Wasserdampfkissen hin und her, das die Wärme schlecht leitet.

Unter Wärmeleitung versteht man Energieübertragung durch Stöße energiereicherer Moleküle gegen energieärmere Moleküle.
Gute Wärmeleiter sind Metalle.
Schlechte Wärmeleiter sind Glas, Porzellan, Steingut, Holz, Kunststoffe, Wasser, Wasserdampf, Gase.

Anwendungen:

1. Grubenlampe
2. Holzgriffe an Töpfen
3. Wärmeleitfähigkeitspaste

Wärmeströmung (Konvektion)

V.: Ein Tauchsieder erwärmt angefärbtes Wasser in einer Ecke eines Glasbehälters.

E.: Das erwärmte Wasser steigt nach oben, gibt Energie an kältere Schichten ab, sinkt nach unten und zirkuliert schließlich.

Unter Konvektion versteht man Energieübertragung durch Bewegung hochenergetischer Moleküle an Orte niedriger Energie.

Anmerkung: Konvektion in großem Maßstab wird in der Warmwasserheizung ausgenutzt.

Wärmestrahlung

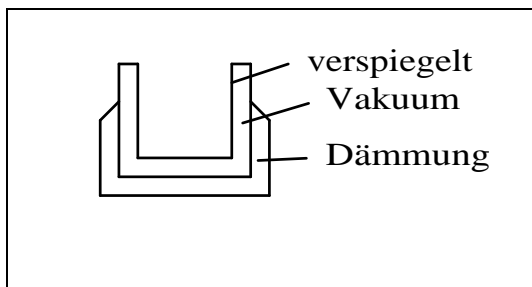
Die Sonne überträgt ihre Energie durch das Vakuum des Weltalls, die Kolben von Glühlampen werden trotz fehlender Leitung und Konvektion heiß, weil Energie auch durch (elektromagnetische) Strahlung übertragen werden kann.

Alltägliche Beobachtungen: Dunkle Autos werden im Sommer heißer als helle und glänzende, strahlen ihrerseits bei gleicher Temperatur mehr Energie ab. Mikrowellenherde erwärmen Speisen durch Strahlung ohne direkten Kontakt.

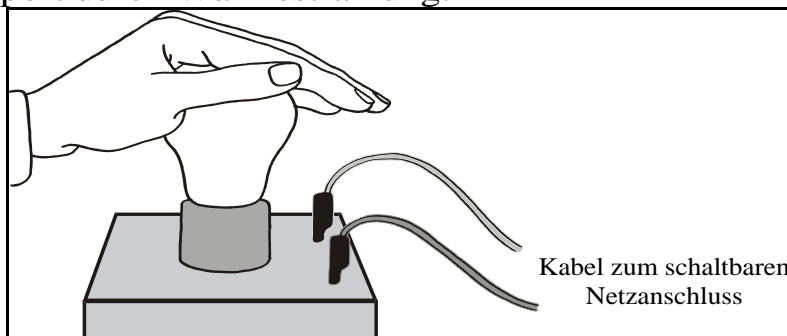
Dunkle Körper absorbieren und emittieren mehr Strahlung als helle und glänzende Körper.

Anwendungen:

1. Heizkörper geben ihre Energie teils durch Strömung (Konvektoren), teils durch Strahlung (Radiatoren) ab.
2. Thermosgefäße sind innen verspiegelt (Reflexion), doppelwandig (keine Strömung) und durch geeignete Stoffe nach außen gedämmt (keine Leitung).



3. Wärmedämmmaßnahmen: Verwendung von Stoffen mit sehr schlechter Wärmeleitung und vielen kleinen Luftzwischenräumen zum Verhindern von Konvektion.
4. Die kalte Glühlampe: Das Experiment demonstriert den Energietransport durch Wärmestrahlung.



Aufbau, Durchführung: Man hält beide Hände dicht um den Glaskolben einer ausgeschalteten Glühlampe, ohne sie zu berühren. Die

Lampe wird eingeschaltet. Man spürt sofort eine deutliche Wärmewirkung auf der Haut der Hand. Nach ca. zwei Sekunden berührt man den Glaskolben der Lampe (siehe Abb. 1), der erstaunlicherweise noch relativ kalt ist. Nach einiger Zeit hat sich auch der Glaskolben erwärmt und sollte nicht mehr berührt werden.

Erklärung: Bei weitgehend luftleeren bzw. mit Gas weit unter Umgebungsdruck gefüllten Glühlampen dringt Wärmestrahlung nach dem Einschalten sofort durch das Glas und erwärmt die Haut der Hand. Im Innenraum tritt kein merklicher Wärmetransport durch Wärmeleitung oder Konvektion auf. Da Glas ein schlechter Wärmeleiter ist und die Absorption von Wärmestrahlung durch das Glas gering ist, bleibt der Glaskolben der Glühlampe für eine verhältnismäßig lange Zeit (mehrere Sekunden) nach dem Einschalten der Lampe relativ kalt.

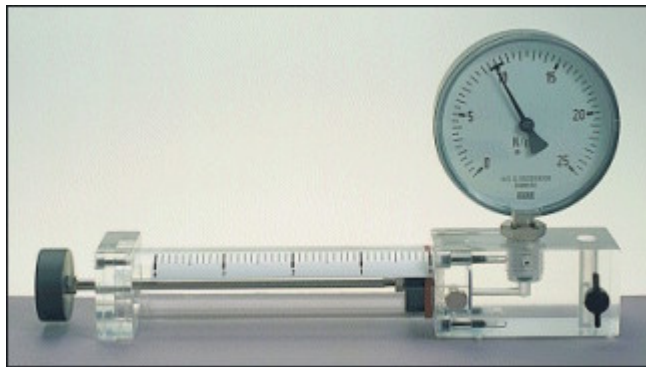
Eine herkömmliche Glühlampe wandelt einen Großteil der zugeführten elektrischen Energie in Wärmeenergie bzw. Strahlungsenergie von Wärmestrahlung um und nicht in Strahlungsenergie von elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Bereich. Von der aufgewendeten elektrischen Leistung werden bei der Glühlampe ca. 2 % in Lichtleistung umgesetzt. Ein Großteil der hineingesteckten elektrischen Energie wird also „zweckfremd“ verbraucht (eine Glühlampe soll Licht liefern und nicht einen Ofen ersetzen). Günstiger sieht es bei Leuchtstoffröhren aus, die, mit moderner Elektronik ergänzt, heute in sogenannten „Energiesparlampen“ Verwendung finden. Hier wird ein weitaus größerer Teil der aufgewendeten elektrischen Leistung in Lichtleistung umgewandelt (ca. 10 %).

2.4 Ideales Gas, Gasgesetze

Das Boyle-Mariotte-Gesetz

Gase sind kompressibel, d. h. man kann ihr Volumen leicht verkleinern. Dabei steigt allerdings der Druck im Innern des abgeschlossenen Gasvolumens.

Versuch: Das Volumen einer abgeschlossenen Luftmenge kann durch einen Stempel variiert werden. Gleichzeitig wird der Druck des eingeschlossenen Gasvolumens angezeigt.



Ergebnis: Druck und Volumen sind zueinander indirekt proportional bzw. das Produkt aus Druck und Volumen ist konstant.

Gesetz von Boyle-Mariotte: Das Produkt aus Druck und Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge ist bei konstanter Temperatur konstant:
 $p \cdot V = \text{const.}$ bzw. $p \sim \frac{1}{V}$

Die Gleichung des idealen Gases

Mit geeigneten Versuchsanordnungen lassen sich weitere Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen Druck p , Volumen V und (absoluter) Temperatur T herstellen:

Gesetz	Prozess	Gleichung	konstant
Boyle-Mariotte	isotherm	$p \cdot V = \text{const.}$	T
Gay-Lussac	isobar	$\frac{V}{T} = \text{const.}$	p
Amontons	isochor	$\frac{p}{T} = \text{const}$	V

Daraus lässt sich leicht ein Gesetz herleiten, das einen Zusammenhang zwischen allen drei Zustandsgrößen beschreibt:

Grundgleichung des idealen Gases:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const.} \quad \text{bzw.} \quad \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Anmerkung: Herkömmliche Gase (Stickstoff, Sauerstoff usw.) verhalten sich bei üblichen Bedingungen wie ideale Gase.

Dieses Dokument wurde mit Win2PDF, erhaeltlich unter <http://www.win2pdf.com/ch>
Die unregistrierte Version von Win2PDF darf nur zu nicht-kommerziellen Zwecken und zur Evaluation eingesetzt werden.