



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

125. Wärmeleitung

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

lich, und die den Druck anzeigende Linie steigt plötzlich steil empor. Bei höherer Temperatur wird die Sättigung erst bei höherem Druck und kleinerem Volumen erreicht, wie die Kurve  $N' P' M' F'$  veranschaulicht. Bei der kritischen Temperatur wird die Druckänderung durch die krumme Linie  $Q R$  dargestellt, welche kein horizontales Stück mehr aufweist und dadurch zu erkennen gibt, daß ein Maximum der Spannkraft oder eine Sättigung des Dampfes nun nicht mehr eintritt. Bei noch höherer Temperatur ist der Verlauf der Isothermen derselbe wie bei den vollkommenen Gasen. Die der kritischen Temperatur entsprechende Kurve  $Q R$  bildet in der Zeichnungsebene die Grenze zwischen dem unter ihr liegenden Gebiet des Dampfzustandes und dem oberhalb liegenden Gebiet des Gaszustandes.

125. **Wärmeleitung.** Hält man einen Metalldraht in eine Kerzenflamme, so wird er, indem die Wärme von dem erhitzten Ende den Draht entlang fortwandert, auch am anderen Ende bald so heiß, daß man ihn nicht mehr zwischen den Fingern halten kann: ein gleichlanges Holzstäbchen dagegen kann man an seinem Ende anzünden und fast bis zu den Fingern abbrennen lassen, ohne eine Temperaturerhöhung zu fühlen. Ein silberner Schöpflöffel, in die heiße Suppe gesteckt, wird sehr rasch auch an seinem Griff heiß, während ein hölzerner Kochlöffel unter denselben Umständen nur langsam und in geringem Grade sich erwärmt. Diese Fortpflanzung der Wärme in den Körpern durch Mitteilung von den wärmeren an die kälteren Stellen nennt man Wärmeleitung. Wie aus den angeführten Beispielen schon hervorgeht, ist das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen Körper sehr verschieden. Unter allen Körpern leiten die Metalle die Wärme am besten; Holz, Asche Stroh, Seide, Federn, Haare, Wolle usw., überhaupt lockere Stoffe aus dem Tier- und Pflanzenreich sind die schlechtesten Wärmeleiter; etwas besser leiten Steine, Glas, Porzellan. Das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen Metalle ist übrigens sehr ungleich, wie man durch folgenden Versuch leicht zeigen kann. Eine Kupferstange und eine gleich dicke Eisenstange werden wagerecht, mit ihren Enden sich berührend, aufgestellt und auf ihrer Unterseite in gleichen Abständen von der Berührungsstelle hölzerne Kugeln mittels Wachs angeklebt. Erwärmt man nun die Berührungsstelle, so verbreitet sich die Wärme in dem Kupferstab rascher, und es fallen von ihm mehr Kugeln ab als von dem Eisenstab.

Wird ein Metallstab (Fig. 125), der in gleichen Abständen Thermometer trägt, die in Bohrlöcher des Stabes eingesenkt sind, an einem Ende erwärmt, so bemerkt man, daß nach einiger Zeit jedes Thermometer einen festen Stand erreicht und sonach in der Wärmeverteilung längs des Stabes ein Gleichgewichtszustand eintritt, welcher dadurch bedingt ist, daß nun jedem Querschnitt des Stabes von der Wärmequelle ebensoviel Wärme zufließt, als er nach der anderen Seite hin abgibt. Diese Abgabe erfolgt aber nicht bloß infolge des Abfließens der Wärme innerhalb des Stabes nach dem kälteren Ende hin, sondern auch dadurch, daß der Stab durch seine Oberfläche an die kältere Umgebung fortwährend Wärme verliert.

Man unterscheidet daher ein inneres und äußeres Wärmeleitungsvermögen und versteht unter innerer Leitungsfähigkeit die Wärmemenge, welche durch einen Würfel der Substanz von 1 cm Kantenlänge in 1 Sekunde hindurchgeht, wenn zwei gegenüberliegende Flächen einen Temperaturunterschied von  $1^{\circ}$  C. besitzen und die übrigen Flächen als für Wärme undurchlässig gedacht werden; unter äußerer Leitungsfähigkeit aber versteht man die Wärmemenge, welche ein Körper bei einem Temperaturüberschuß von  $1^{\circ}$  über die Umgebung an diese durch 1 qcm seiner Oberfläche in 1 Sekunde

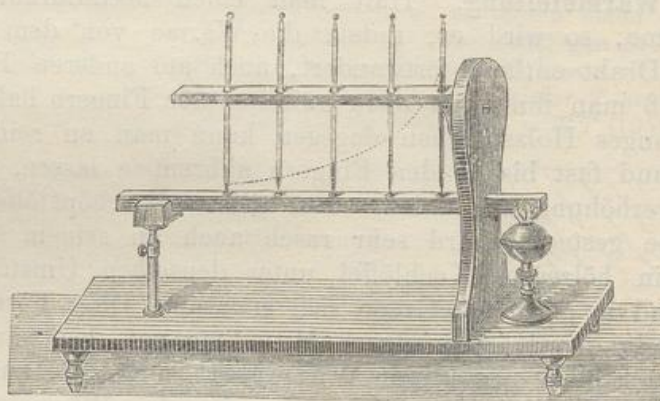


Fig. 125.  
Wärmeleitung.

abgibt. Die Wärmemengen denkt man sich dabei durch die kleinere Wärmeeinheit oder Grammkalorie gemessen.

Hat der Metallstab das Wärmegleichgewicht oder den „stationären Zustand“ erreicht, so ergibt sich, daß die Temperaturüberschüsse der aufeinanderfolgenden Thermometer das Gesetz befolgen, daß jeder folgende der nämliche Bruchteil von dem vorhergehenden ist, oder daß, wenn die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe wachsen, die Temperaturerhöhungen in geometrischer Reihe abnehmen, ein Gesetz, das durch die punktierte krumme Linie, welche die Gipfelpunkte der Quecksilbersäulen (Fig. 125) verbindet, versinnlicht wird (Desprez, 1822).

Der Abfall der Kurven vom wärmeren nach dem kälteren Ende des Stabes veranschaulicht zugleich das an jeder seiner Stellen vorhandene Temperaturgefälle; darunter versteht man für zwei nahe gelegene Punkte das Verhältnis ihres Temperaturunterschiedes zu ihrem Abstand. Die Wärmemenge, welche durch einen beliebigen Querschnitt des Stabes durch innere Leitung in einer Sekunde fließt, würde man erhalten, wenn man das Produkt aus Querschnitt und Gefälle noch mit dem inneren Leitungsvermögen der Substanz multipliziert. Diese Wärmemenge muß im stationären Zustande derjenigen gleich sein, welche das ganze jenseits dieses Querschnittes

liegende Stabende durch äußere Leitung in der Sekunde verliert. Letztere Wärmemenge läßt sich aus der Oberfläche dieses Stabstückes und den Angaben der Thermometer berechnen, wenn die äußere Leitungsfähigkeit bekannt ist. Das äußere Leistungsvermögen aber findet man, wenn man den Wärmeverlust pro Minute beobachtet, den ein Stück derselben Substanz, dessen Gewicht, Oberfläche und spezifische Wärme bestimmt sind, bei bekanntem Temperaturüberschuß über die Umgebung erleidet. Auf diese Weise kann man die beiden Wärmeleitfähigkeiten den obigen Definitionen gemäß in absolutem Maße ermitteln.

Die verhältnismäßige (innere) Leitungsfähigkeit verschiedener Körper kann man finden durch Beobachtungen an Stäben von gleicher Gestalt, deren äußere Wärmeleitfähigkeit durch Überziehen mit Firnis oder durch Versilberung für alle möglichst gleich gemacht wurde. Unter diesen Umständen verhalten sich die inneren Leitungsfähigkeiten wie die Quadrate derjenigen Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen nach Eintritt des stationären Zustandes gleiche Temperaturüberschüsse stattfinden. Wiedemann und Franz (1853) bestimmten die Temperaturen mit Hilfe eines thermoelektrischen Elements (s. 237) und erhielten Werte für die relativen (inneren) Leitungsfähigkeiten der Metalle, aus denen sich eine eigentümliche Beziehung zur elektrischen Leitungsfähigkeit derselben Metalle ergab (s. 223).

Neuere Messungen haben für die absoluten Leitungsfähigkeiten folgende Werte ergeben:

Silber . . . . .	1,01	Zinn . . . . .	0,15
Kupfer . . . . .	0,90	Eisen . . . . .	0,15
Gold . . . . .	0,70	Blei . . . . .	0,08
Zink . . . . .	0,27	Neusilber . . . . .	0,08
Platin . . . . .	0,17	Wismut . . . . .	0,02

Hiernach gehen z. B. durch einen Kupferwürfel von 1 cm Kantenlänge bei einem Temperaturunterschied von 1° C. an zwei gegenüberliegenden Flächen in der Sekunde 0,93 Grammkalorien, in der Minute also 56 Grammkalorien hindurch.

Im täglichen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Körper vielfache Anwendungen. Um uns die Finger nicht zu verbrennen, versehen wir Teekannen, Ofentüren und Schürhaken mit hölzernen Griffen. Bäume und Sträucher umwickelt man im Winter mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen. Unsere Kleider, welche aus schlechten Wärmeleitern gefertigt sind, „geben“ zwar nicht warm, aber sie „halten“ uns warm, indem sie die rasche Abgabe der Körperwärme an die kalte Umgebung verhindern. Andererseits verhindert man durch Stroh und andere schlechte Wärmeleiter das Eindringen der äußeren Wärme in die Eiskeller und verpackt Eis, welches verschickt werden soll, in Sägespäne. Die feuersicheren Geldschränke enthalten

zwischen ihren Doppelwänden Asche, welche den Zutritt der Hitze verzögert. In einem kalten Zimmer fühlt sich die metallene Türklinke kälter an als der Tischteppich, obgleich beide die nämliche Temperatur haben, weil das Metall die Wärme unserer Hand rascher fortleitet und daher der Hand mehr Wärme entzieht als das schlecht leitende Gewebe; in einem Raum, der auf eine höhere als unsere Körpertemperatur erwärmt wäre, würde sich umgekehrt das Metall heißer anfühlen als der Teppich, weil jenes der Hand mehr Wärme zuführt als dieser. Umgibt man einen Zylinder, der zur Hälfte aus Kupfer, zur Hälfte aus Holz besteht, mit einer dicht anschließenden Papierhülse und hält ihn über eine Flamme, so verkohlt das Papier, soweit es die hölzerne Hälfte bedeckt; über der Kupferhälfte aber bleibt es unversehrt, weil das Metall, indem es die zugeführte Wärme rasch fortleitet, das Papier nicht bis zur Verbrennungstemperatur kommen läßt. In ähnlicher Weise erklärt sich auch das merkwürdige Verhalten von Drahtnetzen gegenüber Flammen. Hält man ein feines Drahtgewebe in eine Gasflamme, so erscheint diese wie abgeschnitten; die metallenen Fäden leiten nämlich die Wärme so rasch ab, daß die Flammengase unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt werden. Läßt man das Gas, ohne es anzuzünden, aus dem Brenner strömen und hält das Drahtnetz in den Gasstrom, so kann man letzteren oberhalb des Netzes anzünden, ohne daß sich die Entzündung unter das Netz fortpflanzt. Auf diesem Verhalten beruht Davys Sicherheitslampe. Die Flamme einer Öllampe ist von einem zylindrischen, oben geschlossenen Drahtnetz umgeben; betritt der Bergmann mit einer solchen Lampe einen Stollen, in welchem sich Kohlenwasserstoffgas der Luft beigemischt und sogenannte „schlagende Wetter“ gebildet hat, nämlich ein Gasgemisch, welches an offener Flamme sich entzünden und explodieren würde, so dringt das brennende Gas zwar durch die Maschen des Netzes zur Flamme und verbrennt unter schwachen Explosionen im Innern des Drahtzylinders, die Entzündung vermag sich aber nicht nach außen fortzupflanzen.

Die Flüssigkeiten sind schlechte Wärmeleiter, in ihnen verbreitet sich die Wärme vorzugsweise durch Strömungen (Konvektion), welche dadurch entstehen, daß beim Erwärmen von unten die durch Ausdehnung spezifisch leichter gewordenen Flüssigkeitsteile nach oben steigen und durch die herabsinkenden kälteren Teile ersetzt werden; durch diesen Kreislauf, auf welchen sich die Wasserheizung gründet, wird die Erwärmung einer Flüssigkeit ungemein befördert. Erwärmt man dagegen von oben, so verbreitet sich die Wärme vermöge der schlechten Leitungsfähigkeit nur sehr langsam nach unten. In einem schräg gehaltenen Probierröhrchen kann man das Wasser oben zum Kochen bringen, während ein Stückchen Eis, welches am Boden des Gläschens durch einen schweren Körper festgehalten wird, nicht merklich schmilzt. Die absolute Leitungsfähigkeit des Wassers beträgt nur 0,0012.

Die Gase leiten die Wärme ebenfalls sehr schlecht; ruhende Luftschichten, wie z. B. die zwischen Doppelfenstern eingeschlossene Luftschicht, sind daher sehr geeignet, die Fortleitung der Wärme zu verhindern. Die oben als schlecht leitend bezeichneten tierischen und pflanzlichen Stoffe (Stroh, Wolle usw.) verdanken ihre „warm haltende“ Eigenschaft vorzugsweise der in ihren Zwischenräumen festgehaltenen schlecht leitenden Luft. Die Wärmeleitfähigkeit der Gase ist übrigens ungleich; Wasserstoffgas leitet die Wärme viel besser als alle übrigen Gase. Das absolute Leitungsvermögen der Luft ist 0,000056, dasjenige des Wasserstoffes etwa siebenmal so groß (Stefan, 1872).

126. **Wärmestrahlung.** Wendet man das Gesicht einem geheizten Ofen zu, so empfindet man Hitze; dieses erhöhte Wärmegefühl verschwindet sofort, wenn ein Ofenschirm vor den Ofen gestellt wird; es kann demnach nicht von der erwärmten Luft des Zimmers, welche mit unserer Haut nach wie vor in Berührung ist, hervorgerufen sein, sondern muß eine von dem Ofen ausgehende Wirkung sein, welche durch ein zwischen unser Gesicht und den Ofen gebrachtes Hindernis aufgehalten wird, und welche wir dadurch bezeichnen, daß wir sagen: „der Ofen strahlt Wärme aus“. Diese Wärmestrahlen pflanzen sich in gerader Linie durch die Luft fort, ohne sie unmittelbar zu erwärmen, und wirken erst dann erwärmend, wenn sie auf einen Körper treffen, der sie nicht oder nur teilweise durchläßt, sondern sie in sich aufnimmt, verschluckt oder absorbiert; man sieht z. B. die Eisblumen an den Fensterscheiben unter der Einwirkung der vom Ofen ausgehenden Wärmestrahlen bereits schmelzen, wenn auch die Temperatur der Zimmerluft noch unter dem Gefrierpunkt ist. Diese unsichtbaren Strahlen, welche von jedem warmen oder heißen Körper ausgehen, werden von Spiegeln zurückgeworfen, von Prismen und Linsen gebrochen, an rauhen Flächen zerstreut und absorbiert nach denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlen. Zudem sind die Lichtstrahlen zugleich auch Wärmestrahlen, denn sie wirken erwärmend auf einen Körper, der sie absorbiert. Wir werden daher die Erscheinungen der strahlenden Wärme erst später im Zusammenhange mit den Lichterscheinungen betrachten, und beschränken uns hier auf die Erwähnung einiger alltäglicher Erfahrungen.

Ein bestrahlter Körper wird sich um so höher erwärmen, je vollständiger er die auf ihn fallenden Strahlen verschluckt, oder je weniger er davon durch diffuse Zurückwerfung wieder zurückgibt; dunkle Körper erwärmen sich daher bei gleicher Bestrahlung höher als helle. Aus diesem Grunde bedienen wir uns im Winter dunkler, im Sommer heller Kleidung. Dunkel gefärbte Ackererde wird unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen stärker erwärmt als weißlicher Kalkboden. Der Kienruß, welcher alle Strahlenarten fast vollkommen absorbiert und eben darum schwarz aussieht, wird durch Bestrahlung stärker erwärmt als irgend ein anderer Körper. Streut man Ruß auf den Schnee, so wird man bemerken, daß der Schnee unter dem