



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Lehrbuch der Experimentalphysik**

**Lommel, Eugen von**

**Leipzig, 1908**

109. Schmelzen. Schmelzpunkt und Schmelzwärme. Eiskalorimeter

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](#)

welcher Gleichung sich die spezifische Wärme des Gases ergibt. Auf diesem Wege wurden folgende Werte gefunden:

Luft . . . . .	0,238	Wasserstoff . . . . .	3,41
Sauerstoff . . . . .	0,220	Kohlenoxyd . . . . .	0,243
Stickstoff . . . . .	0,244	Chlor . . . . .	0,121

Multipliziert man diese Zahlen mit den spezifischen Gewichten (den Gewichten gleicher Volumina) der betreffenden Gase, so erhält man, wenigstens für die fünf ersten der genannten Gase, nahezu das gleiche Produkt, d. h. bei den vollkommenen Gasen erfordern gleiche Raumteile verschiedener Gase für gleiche Erwärmung gleich große Wärmemengen. Da die spezifischen Gewichte der gasförmigen Körper sich verhalten wie die Molekulargewichte (Avogadros Gesetz, 88), so kann man auch sagen, die Molekularwärmnen der vollkommenen Gase sind einander gleich.

Über die Verschiedenheit der spezifischen Wärmnen der Gase bei konstantem Druck und bei konstanten Volumen s. u. (S. 215).

**109. Schmelzen. Schmelzpunkt und Schmelzwärme. Eiskalorimeter.** Führt man einem festen Körper fortgesetzt Wärme zu, so steigt zunächst seine Temperatur; hat sie eine gewisse Höhe erreicht, so geht der Körper in den flüssigen Zustand über, er schmilzt. In der Regel erfolgt die Schmelzung bei einem für jeden Stoff ganz bestimmten Wärmegrad, welchen man den Schmelzpunkt nennt. Die Schmelzpunkte einiger Körper sind:

Quecksilber . . . . .	-39° C.	Blei . . . . .	327° C.
Eis . . . . .	0 "	Zink . . . . .	419 "
Benzol . . . . .	5,5 "	Antimon . . . . .	630 "
Eisessig . . . . .	16,8 "	Silber . . . . .	961 "
Talg . . . . .	43 "	Gold . . . . .	1064 "
Paraffin . . . . .	46 "	Kupfer . . . . .	1084 "
Wachs . . . . .	62 "	Gußeisen . . . . .	1200 "
Schwefel . . . . .	115 "	Gußstahl . . . . .	1375 "
Zinn . . . . .	232 "	Schmiedeeisen . . . . .	1600 "
Wismut . . . . .	269 "	Platin . . . . .	1775 "
Cadmium . . . . .	321 "	Iridium . . . . .	1950 "

Merkwürdig ist, daß der Schmelzpunkt mancher Metallgemische (Legierungen) niedriger ist als derjenige eines jeden ihrer Bestandteile. Das Schnellot der Klempner, aus 5 Gewichtsteilen Zinn und 1 Gewichtsteil Blei bestehend, schmilzt bereits bei 195°; das Rosesche Metallgemisch, aus 2 Teilen Wismut, 1 Teil Blei und 1 Teil Zinn, schmilzt schon unterhalb der Siedehitze des Wassers bei 95°, Woods Metall, aus 1—2 Teilen Cadmium, 7—8 Teilen Wismut, 2 Teilen Zinn und 4 Teilen Blei, sogar schon bei 65 bis 70°. Alle Körper sind bei genügend hoher Erhitzung schmelzbar, falls sie nicht, wie z. B. das Holz, schon vorher durch die Hitze chemisch zersetzt werden. Nur Kohle hat bisher durch die uns zur Verfügung stehenden Hilfsmittel nicht geschmolzen werden können.

Solange das Schmelzen dauert, behält der schmelzende Körper die Temperatur seines Schmelzpunktes unverändert bei. An einem

kalten Wintertag stelle man ein Gefäß voll Schnee, welcher unter den Gefrierpunkt, z. B. auf  $-5^{\circ}$  erkaltet ist, mit einem Thermometer darin auf den warmen Ofen. Zunächst wird das Thermometer steigen und anzeigen, daß der Schnee sich nach und nach auf  $-4^{\circ}$ ,  $-2^{\circ}$ ,  $-1^{\circ}$  bis  $0^{\circ}$  erwärmt. Nun aber bleibt das Thermometer auf  $0^{\circ}$  eine Zeitlang unverändert stehen, bis der Schnee völlig geschmolzen ist und sich in Wasser von  $0^{\circ}$  verwandelt hat. Alsdann steigt das Thermometer wieder, indem sich das entstandene Wasser erwärmt. Obgleich von dem Ofen unausgesetzt Wärme in das Gefäß übergeht, so findet doch, während der Schnee schmilzt, keine Erwärmung statt, sondern alle während des Schmelzens zugeführte Wärme wird dazu verbraucht, den Schnee von  $0^{\circ}$  in Wasser von  $0^{\circ}$  zu verwandeln, und sie verschwindet daher sowohl für unser Gefühl als für das Thermometer. Wie bei der Erwärmung macht man auch beim Schmelzen die Wahrnehmung, daß bei gleichmäßiger Wärmefuhr der Vorgang um so länger dauert, je größer die Masse des zu schmelzenden Körpers ist. Man nennt die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg eines Körpers in den flüssigen Zustand überzuführen, die Schmelzwärme des Körpers, oder auch, weil sie sich gleichsam mit dem Körper verbunden oder in der entstandenen Flüssigkeit versteckt zu haben scheint, die gebundene oder latente Wärme (Black, 1757). Um die Schmelzwärme des Eises zu bestimmen, vermischen wir rasch 1 kg trockenen Schnee von  $0^{\circ}$  mit 1 kg Wasser von  $80^{\circ}$  C.; wir erhalten, nachdem der Schnee geschmolzen ist, 2 kg Wasser von  $0^{\circ}$ . Demnach wird alle Wärme, welche 1 kg Wasser abgibt, indem es von  $80^{\circ}$  C. auf  $0^{\circ}$  erkaltet, dazu verwendet, 1 kg Schnee von  $0^{\circ}$  in 1 kg Wasser von ebenfalls  $0^{\circ}$  zu verwandeln, oder mit anderen Worten, zur bloßen Schmelzung von 1 kg Eis wird ebensoviel Wärme verbraucht als nötig war, um 1 kg Wasser von  $0^{\circ}$  auf  $80^{\circ}$  zu erwärmen. Die Schmelzwärme des Eises beträgt demnach 80 Wärmeeinheiten oder Kalorien.

Die Schmelzwärmen einiger Körper sind:

Eis . . . . .	80,0	Wismut . . . . .	12,6
Phosphor . . . . .	5,0	Zinn . . . . .	14,2
Schwefel . . . . .	9,4	Silber . . . . .	21,1
Blei . . . . .	5,4	Zink . . . . .	28,1

Benutzt man Wärmemengen, um einen Körper zum Schmelzen zu bringen, so kann man aus der Menge der geschmolzenen Substanz auf die Größe der zugeführten Wärmemenge schließen. Erwärmen wir drei gleich schwere Kugeln von Kupfer, Zinn und Blei in siedendem Wasser auf  $100^{\circ}$  und bringen sie rasch auf eine Wachsscheibe, so fällt die Kupferkugel sehr bald durch das Loch, das sie aufgeschmolzen hat, die Zinnkugel dringt tief in die Scheibe ein, während die Bleikugel nur ganz wenig einsinkt. Es ist hierdurch augenfällig, daß das Kupfer die größte Wärmemenge abgegeben hat und demnach unter diesen Metallen die größte spezifische Wärme besitzt, das Zinn eine mittlere, das Blei die kleinste. Bei dem Eis-

kalorimeter benutzt man das Schmelzen von Eis zur genauen Messung von Wärmemengen. Das Eiskalorimeter von Lavoisier und Laplace (Fig. 111) besteht aus drei sich der Reihe nach umhüllenden Blechgefäßen, von denen das innerste *c* siebartig durchlöchert oder auch durch einen Drahtkorb ersetzt ist. Der Zwischenraum *aa* zwischen dem äußersten und mittleren Gefäß sowie der hohe Deckel des letzteren werden mit Eisstücken gefüllt, die dazu dienen, die Wärme der äußeren Umgebung von dem ebenfalls mit Eisstücken gefüllten Raum *bb* zwischen dem mittleren und innersten Gefäß abzuhalten; das in dem Raum *aa* durch die äußere Wärme erzeugte Schmelzwasser fließt durch den Hahn *d* ab. Bringt man nun einen Körper von bekanntem Gewicht und bekannter Temperatur

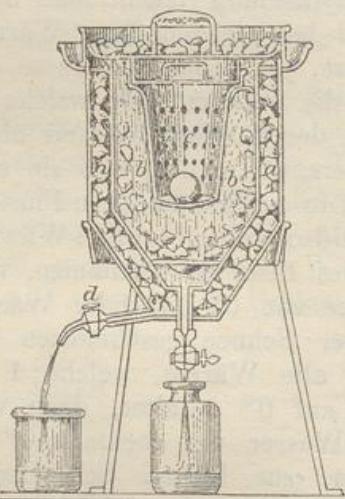


Fig. 111.  
Eiskalorimeter von Lavoisier u. Laplace.

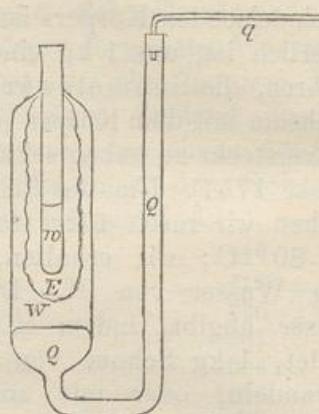


Fig. 112.  
Eiskalorimeter von Bunsen.

(z. B. eine in den Dämpfen siedenden Wassers auf  $100^{\circ}$  erhitzte eiserne Kugel) in das innerste Gefäß, so wird die Wärme, die der Körper abgibt, indem er auf  $0^{\circ}$  erkaltet, eine gewisse Menge Eis schmelzen, welche man durch Wägung des durch den Hahn *e* abgelaufenen Schmelzwassers ermittelt. Da man nun weiß, daß zur Schmelzung von 1 kg Eis 80 Wärmeeinheiten erforderlich sind, so kann man jene Wärmemenge leicht berechnen, und erfährt sonach auch die Wärmemenge, welche 1 kg des Stoffes bei einer Abkühlung um  $1^{\circ}$  C. abgegeben haben würde, d. h. seine spezifische Wärme. Viel einfacher ist das Verfahren von Black (1772); man bringt den erwärmten Körper in eine Vertiefung eines oben ebenen Eisblocks, deckt mit einer Eisplatte zu, und wägt, nachdem der Körper auf  $0^{\circ}$  erkaltet ist, das mittels eines Schwämmchens aufgetupfte Schmelzwasser. Das weit genauere Eiskalorimeter von Bunsen (Fig. 112) gründet sich auf die Tatsache, daß beim Schmelzen des Eises eine Zusammenziehung stattfindet, indem das entstandene Schmelzwasser

einen kleineren Raum einnimmt als das Eis. In das weitere Glasgefäß  $W$ , welches sich unten in das umgebogene und wieder aufsteigende Glasrohr  $QQ$  fortsetzt, ist das Probierröhrchen  $w$  eingeschmolzen; das Gefäß  $W$  wird mit luftfreiem Wasser gefüllt, welches durch das im unteren Teil von  $W$  und in der Röhre befindliche Quecksilber  $QQ$  abgesperrt ist. Man erzeugt zunächst um das Röhrchen  $w$  herum einen Eismantel  $E$ , indem man tief erkalteten Weingeist eine Zeitlang durch das Röhrchen hindurchströmen läßt. Dann wird etwas Wasser oder Petroleum in das Röhrchen hineingetan, der ganze Apparat mit Eis umgeben, oder in einen mittels Eis auf  $0^{\circ}$  erhaltenen Raum gebracht und gewartet, bis sich seine Temperatur vollkommen auf  $0^{\circ}$  ausgeglichen hat. Wirft man nun einen auf bekannte Temperatur erwärmten Körper in das Röhrchen, so wird etwas Eis des Eismantels geschmolzen; infolge der eintrenden Raumverminderung tritt mehr Quecksilber in das Gefäß  $W$ , und in dem engen Glasröhrchen  $q$ , welches mittels eines Korkes in das Rohr  $Q$  eingesetzt ist, zieht sich der Quecksilberfaden zurück; aus der Größe seiner Verschiebung ergibt sich die Menge des entstandenen Schmelzwassers und demnach auch die von dem Körper an das Eis abgegebene Wärmemenge.

Stellt man ein Glas Wasser, in welches ein Thermometer eingesenkt ist, bei großer Kälte ins Freie, so sieht man das Thermometer sinken, bis es  $0^{\circ}$  erreicht hat; nun beginnt die Eisbildung, und das Thermometer bleibt jetzt längere Zeit unverändert auf  $0^{\circ}$  stehen, bis seine Kugel ganz von Eis umhüllt ist. Obgleich also dem Gefäß fortwährend durch Abgabe an die kältere Umgebung Wärme entzogen wird, sinkt doch während der Dauer des Erstarrens die Temperatur nicht, was nur dadurch möglich ist, daß beim Festwerden des Wassers sich Wärme entwickelt, welche, indem sie in jedem Augenblick die nach außen abgegebene Wärmemenge ersetzt, die Temperatur  $0^{\circ}$  aufrecht erhält.

Beim Erstarren wird also die beim Schmelzen gebundene Wärmemenge wieder frei. Durch die große Wärmemenge, welche das Wasser beim Gefrieren entbindet, wird der Eintritt der Winterkälte verzögert.

Wasser von  $0^{\circ}$  gefriert, wenn man ihm Wärme entzieht, Eis von  $0^{\circ}$  schmilzt, wenn man ihm Wärme zuführt; die Erstarrungstemperatur (der Gefrierpunkt) fällt mit dem Schmelzpunkt zusammen. Unter besonderen Umständen aber, nämlich bei Vermeidung von Erschütterungen und Abschluß der Luft, können Flüssigkeiten bis weit unter den Schmelzpunkt abgekühlt werden, ohne zu ersticken; man sagt alsdann, die Flüssigkeit sei unterkühlt oder überschmolzen und nennt die Erscheinung Überschmelzung oder Gefrierverzug. Stellt man ein Glas Wasser mit einer Ölschicht bedeckt und einem Thermometer darin bei starkem Frost ins Freie, so kann man das Thermometer auf  $-8^{\circ}$  bis  $-10^{\circ}$  sinken sehen, ohne daß das Wasser gefriert, bei einer Erschütterung aber erstarrt plötzlich so viel Wasser, daß die Temperatur der ganzen Masse infolge

der freigewordenen Wärme rasch auf  $0^{\circ}$  steigt. Höher kann die Temperatur nicht steigen, da hiermit die Bedingung zu weiterem Gefrieren aufhört.

Schmilzt man kristallisiertes unterschweflighaftes Natrium (Schmelzpunkt  $48^{\circ}$ ) in einem Glaskölbchen, so erkaltet die Flüssigkeit bei ruhigem Stehen bis zur Zimmertemperatur ( $18^{\circ}$ ), ohne zu erstarrten. Sie erstarrt aber beim Erschüttern oder noch sicherer, wenn man einen Kristall desselben Salzes hineinwirft, und dabei steigt die Temperatur rasch auf  $48^{\circ}$ .

Die meisten Körper dehnen sich beim Schmelzen aus; der Phosphor z. B. vergrößert beim Schmelzen seinen Rauminhalt um 3,4 Prozent. Einige Körper aber, wie Eis und Wismut, nehmen im geschmolzenen Zustand einen geringeren Raum ein als im starren; aus 1000 ccm Eis von  $0^{\circ}$  erhält man durch Schmelzung nur 910 ccm Wasser von  $0^{\circ}$ , und beim Gefrieren von 1000 ccm Wasser findet eine plötzliche Ausdehnung um 90 ccm statt; das Eis ist daher spezifisch leichter als Wasser, und schwimmt selbst auf siedendem Wasser. Die Gewalt, mit welcher diese Ausdehnung erfolgt, ist so bedeutend, daß mit Wasser gefüllte Flaschen, Wasserleitungsröhren, selbst dickwandige Bomben beim Gefrieren ihres Inhaltes zersprengt werden.

Bei Körpern, die beim Schmelzen ihren Rauminhalt vergrößern, wird der Schmelzpunkt durch äußeren Druck erhöht, dagegen erniedrigt bei jenen, die im flüssigen Zustand einen kleineren Raum einnehmen. Durch einen Druck von 17 Atmosphären wird z. B. der Schmelzpunkt des Eises um  $0,129^{\circ}$  erniedrigt, und bei ca. 13000 Atmosphären ist das Wasser bei  $-18^{\circ}$  noch flüssig (Mousson, 1858). Drückt man zwei Eisstücke aneinander, so tritt an der Berührungsstelle wegen Erniedrigung des Schmelzpunktes Schmelzung ein; beim Nachlassen des Druckes gefriert aber das entstandene Schmelzwasser wieder und kittet die Eisstücke aneinander. Man nennt diesen Vorgang, welcher bei Bildung und Fortbewegung der Gletscher wesentlich mitwirkt, Regelation (Faraday, 1850).

**110. Gefrieren von Lösungen.** Der Erstarrungspunkt einer Flüssigkeit wird durch Auflösen einer anderen Substanz in ihr erniedrigt. Meerwasser z. B., welches 3,5 bis 3,7 Prozent Salze gelöst enthält, erstarrt erst zwischen  $-2$  und  $-3^{\circ}$ . Diese Gefrierpunktserniedrigungen sind bei verdünnten Lösungen der gelösten Menge proportional. Sie sind ferner für ein und dasselbe Lösungsmittel umgekehrt proportional dem Molekulargewicht der gelösten Substanz (Raoult, 1882), z. B. beträgt die Gefrierpunktserniedrigung für Wasser  $18,5 \times \frac{m}{M}$ , wenn  $M$  das Molekulargewicht,  $m$  die Anzahl Gramme der gelösten Substanz auf 100 g Wasser bedeutet. Mengen verschiedener Stoffe, die sich verhalten wie ihre Molekulargewichte, bringen also in demselben Lösungsmittel gleiche Gefrierpunktserniedrigungen hervor; oder äquimolekulare Lösungen haben