

SPEZIFISCHE  
WÄRMEKAPAZITÄT

NP

Die Erklärung der Wärmephänomene stellte die Naturwissenschaften lange Zeit vor große Probleme, die erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gelöst werden konnten. Die Schwierigkeit lag darin, dass sich die Wärme im Rahmen des klassischen, stofflichen Denkens der damaligen Zeit nicht erklären ließ und nur grundsätzlich neue Vorstellungen zu einem Verständnis führen konnten. So erklärt es sich auch, dass ein Arzt (ROBERT MAYER) als Nichtphysiker erheblichen Anteil an der Aufklärung der Wärme als Form von Energie haben konnte.

Die Temperatur ist eine sehr anschauliche und grundlegende physikalische Größe (Zustandsgröße). Sie kann vom Menschen mit seinem Tastsinn (in bestimmten Grenzen) direkt wahrgenommen werden. Die Temperatur ist für viele Prozesse, insbesondere der Chemie und aller Biowissenschaften, von großer Bedeutung. Die Reaktionswahrscheinlichkeit bzw. Geschwindigkeit chemischer Reaktionen hängt in erheblichem Maße von der Temperatur ab, was der Grund dafür ist, dass biologische Systeme ihre Temperatur in zum Teil engen Grenzen halten müssen. In der Physik können aus Untersuchungen des Wärmeverhaltens elementare Rückschlüsse auf die Struktur der Materie gewonnen werden.

**Aufgaben**

(Vorversuch): Bestimmung des Wasseräquivalentwertes  $m_A$  des Kalorimeters.

Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität  $c_W$  von Wasser.

Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme  $I_E$  von Eis.

**Physikalische Grundlagen****Temperaturskala**

Als Maßeinheit für die Temperatur ist 1 K (Kelvin; ohne "Grad"-Bezeichnung) definiert (siehe auch Versuch GASTHERMOMETER). Die physikalische Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt der Temperatur und wird thermodynamische oder absolute Temperaturskala genannt. Im Alltag ist daneben die Celsius-Skala gebräuchlich. Die Temperatureinheit ist die gleiche (d.h.

1 K = 1 °C (Grad Celsius)), und die unterschiedlichen Bezeichnungen beziehen sich nur auf verschiedene Skalen, die gegeneinander verschoben sind. Der

Schmelzpunkt des Wassers als Nullpunkt der Celsius-Skala liegt bei 273,15 K, der Siedepunkt bei 373,15 K (bei dem Normaldruck von 1013 hPa).

**Wärme und Temperatur**

Wärme ist eine Form des Energieaustauschs. Führt man einem Körper Wärmeenergie zu, so erhöht sich entweder dessen Temperatur oder es kommt zu einer Phasenumwandlung bei dann gleichbleibender Temperatur. Bei einer Temperaturerhöhung wird die zugeführte Wärme ganz (bei konstantem Volumen) oder teilweise (bei konstantem Druck) in innere Energie des Körpers überführt. Dabei sind die Wärmezufuhr  $\Delta Q$  und die Temperaturänderung  $\Delta T$  proportional zueinander:

$$(1) \quad \Delta Q = C \Delta T = c m \Delta T .$$

Der Proportionalitätsfaktor  $C$  heißt Wärmekapazität des Körpers; der massenbezogene Wert  $c = C/m$  spezifische Wärmekapazität (kurz auch spezifische Wärme). Die spezifische Wärmekapazität ist eine Materialgröße, d.h. sie hat für einen bestimmten Stoff einen bestimmten Wert. Die spezifische Wärme hat anwendungstechnische Bedeutung (Zitat aus: HARTEN; Physik für Mediziner; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York):

*Leben braucht Energie, setzt Energie um - und das nicht nur, wenn man läuft, also mechanische Arbeit produziert. Auch im Schlaf hat der Mensch noch einen Grundumsatz von etwa 7 MJ/Tag oder auch 80 Watt, erforderlich, um die lebenswichtigen Funktionen und die Körpertemperatur aufrechtzuerhalten. Der Mensch hat aber auch eine Wärmekapazität - da er im wesentlichen aus Wasser besteht, darf man bei 70 kg Körpermasse schreiben*

$$C_{\text{Mensch}} \approx 0,3 \text{ MJ/K}$$

*Das heißt nun wieder: Könnte man einen Menschen völlig wärmeisoliert lagern, so müsste ihn sein Grundumsatz mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 K/h aufheizen. Schneller kann Fieber aus rein wärmetechnischen Gründen nicht steigen.*

Bezieht man die Wärmekapazität auf die Stoffmenge (molare Wärmekapazität) bzw. auf die Teilchenzahl, so zeigen sich für bestimmte Materieklassen (z.B. Gase oder Metalle) übereinstimmende Werte. Daraus folgt, dass die Wärmekapazität bzw. die innere Energie mit dem Teilchencharakter und der Struktur der Materie zusammenhängt. Besonders deutlich wird dies beim Verständnis der Gase mit Hilfe eines mechanischen Teilchenmodells (kinetische Gastheorie).

Die spezifischen bzw. molaren Wärmekapazitäten sind im Allgemeinen nicht konstant, sondern von der Temperatur abhängig. Die Abhängigkeit ist bei tiefen Temperaturen (nahe dem absoluten Nullpunkt) besonders stark, woraus Rückschlüsse auf den Quantencharakter der Materie gezogen werden können. Beim vorliegenden Versuch kann jedoch innerhalb der kleinen beobachteten Temperaturintervalle und wegen der relativ hohen Temperatur (Zimmertemperatur) die spezifische Wärme als konstant betrachtet werden.

**Temperatenausgleich**

Bringt man zwei Körper unterschiedlicher Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  in thermischen Kontakt miteinander, so findet ein Wärmeaustausch statt, bis sich eine gemeinsame (Misch-) Temperatur  $T_m$  eingestellt hat. Wegen der Energieerhaltung muss dabei die Wärme, die der heißere Körper abgibt, gleich der Wärme sein, die der kältere Körper aufnimmt:

$$(2) \quad c_1 m_1 (T_m - T_1) = c_2 m_2 (T_2 - T_m).$$

**Schmelzwärme, Verdampfungswärme**

Die auseinanderstrebende Wärmebewegung der Teilchen und die anziehenden Bindungskräfte sind gegenläufige Tendenzen, deren Verhältnis zueinander den Bindungszustand der Materie bestimmt, z.B. die Aggregatzustände (fest, flüssig, gasförmig), aber auch feinere Differenzierungen, wie unterschiedliche kristalline Strukturen (Graphit/Diamant, Modifikationen des Zinns usw.). Diese unterschiedlichen physikalischen Zustände eines chemisch einheitlichen Stoffes werden als Phasen und Zustandsumwandlungen als Phasenübergänge bezeichnet.

Zufuhr oder Abgabe von Wärme führt an Phasenübergängen zu einer Änderung der Phase. Dabei bleibt die Temperatur solange konstant, bis die gesamte Stoff-

menge in die andere Phase übergegangen ist. Aufgenommene Wärmeenergie wird z.B. benötigt, um Arbeit gegen die strukturellen Bindungskräfte der Materie zu verrichten; d.h. bei einem Schmelzvorgang die Kristallstruktur aufzubrechen oder bei der Verdampfung den Abstand zwischen den Molekülen genügend zu vergrößern. Die zur Umwandlung benötigte Wärme bezeichnet man als Umwandlungswärme oder *latente Wärme* (z.B. Schmelzwärme, Verdampfungswärme); die massenbezogenen Umwandlungswärmen werden *spezifische Umwandlungswärmen* genannt, die stoffmengenbezogenen molare Umwandlungswärmen.

### Versuchsdurchführung

Für die Messungen wird ein *Kalorimeter* benutzt, ein thermisch isoliertes Gefäß, in dem Wärmeaustausch- oder Wärmezufuhrvorgänge unter Messung der Temperatur durchgeführt werden können (siehe Abb. 1). Zur Temperaturmessung sind elektrische Digitalthermometer (Auflösungsvermögen 0,1 K) vorhanden. Die Massen der verwendeten Wassermengen werden durch Wägung des leeren und des jeweils gefüllten Kalorimeters bestimmt. Eis ist in einer Kühlbox im Versuchsraum vorhanden.

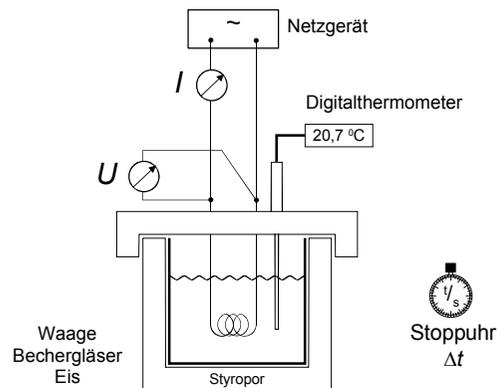


Abb. 1: Kalorimeter mit Heizwendel und Thermometer

### Zu Aufgabe 1

(Vorversuch zum Wasseräquivalent)

Da das Kalorimeter an allen Austauschprozessen beteiligt ist, muss dessen Wärmekapazität berücksichtigt und in einem Vorversuch ermittelt werden. Dazu wird kaltes

Wasser ( $m_W \approx 300 \text{ g}$ ,  $T_1 \approx 0 \text{ °C}$ ) in das leere, auf Zimmertemperatur  $T_R$  befindliche Kalorimeter gefüllt. Aus der Temperaturerhöhung des Wassers auf den Wert  $T_m$  kann entsprechend (2) auf die Wärmekapazität des Kalorimeters  $C_K$  geschlossen werden:

$$(3) \quad C_K (T_R - T_m) = c_W m_W (T_m - T_1) .$$

Da die spezifische Wärme  $c_W$  des Wassers zunächst nicht bekannt ist, berechnet man das Verhältnis  $C_K/c_W = m_A$ . Dieser Wert repräsentiert die Masse einer fiktiven Menge Wasser, die die gleiche Wärmekapazität wie das Kalorimeter besitzt; sie wird *Wasseräquivalent* des Kalorimeters genannt. Diese Größe lässt sich in den folgenden Messgleichungen einfach verwenden, indem man sie bei der jeweiligen Massenbilanz berücksichtigt:

$$(4) \quad m = m_W + m_A .$$

### Zu Aufgabe 2 (Spezifische Wärme von Wasser)

Es wird die noch im Kalorimeter befindliche Wasserprobe vom Vorversuch benutzt. Durch eine kleine elektrische Heizung kann der Wasserprobe eine bestimmte Wärmemenge  $\Delta Q$  zugeführt werden. Für die Umwandlung elektrischer in thermische Energie (*Joulesche Wärme*, siehe Versuch *GLEICHSTROM/WECHSELSTROM*) gilt im Zeitintervall  $\Delta t$ :

$$(5) \quad \Delta Q = U I \Delta t ,$$

wobei  $I$  die Stromstärke und  $U$  die Spannung am Widerstand ist. Die Temperaturerhöhung soll aus Genauigkeitsgründen mindestens 10 K betragen. Anfangs- und Endtemperatur sollen symmetrisch zur Zimmertemperatur liegen um systematische Fehler durch Wärmeaustausch mit der Umgebung wegen unzureichender thermischer Isolation des Kalorimeters möglichst gering zu halten.

### Zu Aufgabe 3 (Schmelzwärme)

Die Schmelzwärme wird aus der Abkühlung bestimmt, die schmelzendes Eis bei einer Wasserprobe verursacht. Bei Aufstellung der Messgleichung müssen drei Anteile am Wärmeaustausch berücksichtigt werden: für das Eis die Aufnahme der Schmelzwärme und die anschließende Aufwärmung von  $T_0 = 273,15 \text{ K}$  ( $= 0 \text{ °C}$ )

auf die Mischtemperatur  $T_m$  und für die Wasserprobe die Abkühlung auf die Mischtemperatur.

Als Wasserprobe wird wieder das noch im Kalorimeter befindliche warme Wasser aus dem Heizversuch benutzt. Die Eismasse sollte etwa 50 g betragen (zwei große Würfel). Das Eis aus der Kühlbox muss eine Weile in einem Wasserbad gehalten werden, um die Temperatur  $0 \text{ °C}$  anzunehmen.

### Literaturwerte

Spezifische Wärmekapazität von Wasser bei  $20 \text{ °C}$ :

$$c_W = 4,1818 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Spezifische Schmelzwärme von Wasser:

$$\Gamma_E = 333,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Spezifische Verdampfungswärme von Wasser bei

$p = 1,0132 \text{ bar}$  und  $T = 373,15 \text{ K}$

$$\Gamma_{v1} = 2255,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Spezifische Verdampfungswärme von Wasser bei

$p = 1,0132 \text{ bar}$  und  $T = 273,15 \text{ K}$

$$\Gamma_{v2} = 2500,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

(Quelle: KOHLRAUSCH; Praktische Physik 3; p.43 B.G.Teubner Stuttgart).