

Vorbereitung: spezifische Wärmekapazität

Axel Müller & Marcel Köpke
Gruppe: 30

03.06.2012

Inhaltsverzeichnis

1	spezifische Wärmekapazität von Metallen	3
1.1	Allgemeines	3
1.2	Fragen	4
2	Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität	5

1 spezifische Wärmekapazität von Metallen

1.1 Allgemeines

Um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen muss man ihm Energie in Form von Wärme zuführen. Man findet dabei, dass die zugeführte Wärmemenge ΔQ proportional zur Temperaturänderung ΔT und der Masse m des Körpers ist:

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Die Proportionalitätskonstante c wird spezifische Wärmekapazität genannt. Sie bezeichnet diejenige Wärmemenge, die man einem Körper der Masse $m = 1\text{kg}$ zuführen muss um seine Temperatur um $\Delta T = 1\text{K}$ zu erhöhen. Im allgemeinen ist sie jedoch keine Konstante sondern selbst abhängig von der absoluten Temperatur des Körpers:

$$c = c(T)$$

Im Bereich von Raumtemperatur kann sie jedoch in guter Näherung für Metalle und Wasser als konstant angenommen werden.

Im Versuch bestimmen wir die spezifische Wärmekapazität c_M eines Metalls auf folgende Art und Weise:

Wir befüllen ein gut gegen die Umgebung isoliertes Gefäß (Kalorimeter) mit Wasser bekannter Temperatur $T_{W,0}$ und Masse m_W . Dann geben wir ein Metallstück mit bekannter Anfangstemperatur $T_{M,0} \neq T_{W,0}$ und Masse m_M hinzu. Nach den Gesetzen der Thermodynamik wird sich im Gefäß eine Mischtemperatur einstellen, die im thermodynamischen Gleichgewicht konstant ist. Es gilt dann also $T_{W,1} = T_{M,1} = T_E = \text{const.}$ Da das Gefäß gegen die Umgebung isoliert ist, kann keine Wärmemenge «abfließen». Die vom Wasser aufgenommene/abgegebene Wärmemenge ist gleich der vom Metall abgegebenen/aufgenommenen Wärmemenge:

$$\begin{aligned} \Delta Q_M &= -\Delta Q_W \\ &\iff \\ c_M \cdot m_M \cdot \Delta T_M &= -c_W \cdot m_W \cdot \Delta T_W \\ &\iff \\ c_M &= -c_W \cdot \frac{m_W}{m_M} \cdot \frac{\Delta T_W}{\Delta T_M} \\ &\iff \\ c_M &= c_W \cdot \frac{m_W}{m_M} \cdot \left| \frac{T_E - T_{W,0}}{T_E - T_{M,0}} \right| \end{aligned}$$

Die spezifische Wärmekapazität c_W von Wasser wird dabei als bekannt vorausgesetzt:

$$c_W = 4,182 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

1.2 Fragen

- Metallform:
Granulat eignet sich besser, da es eine größere Oberfläche besitzt und sich so das thermodynamische Gleichgewicht schneller einstellt. Damit wird weniger Energie an die Umgebung abgegeben (Stichwort: nicht perfektes Kalorimeter).
- Anfangstemperatur:
Da Wasser eine höhere spezifische Wärmekapazität besitzt als die meisten Metalle bietet es sich an die Anfangstemperatur des Wassers auf Raumtemperatur zu setzen und die Temperatur des Metalls knapp unterhalb des Siedepunkts von Wasser anzusetzen. Dadurch wird ein möglichst kleiner Temperaturgradient zwischen dem Inneren des Kalorimeters und der Umgebung gewährleistet (geringerer Fehler durch Leckwärme). Durch die Wahl der Anfangstemperatur des Metalls wird zudem gewährleistet, dass keine Wärme in Form von latenter Wärme (durch Verdampfen des Wassers) «verloren» geht und die Messung verfälscht.
- Flüssigkeit:
Es bietet sich an Wasser zu benutzen, da die spezifische Wärmekapazität von Wasser im Bereich von Raumtemperatur als konstant angesehen werden kann.
- Masse des Wassers:
Begrenzt durch die Füllmenge des Kalorimeters. Sollte aber nicht zu groß gewählt werden, da für $T_{M,0}$ und m_M konstant die zu messende Temperaturdifferenz ΔT_W mit steigendem m_W immer geringer wird. Die Schwankungen des Temperaturmessgeräts wirken sich für kleine Temperaturdifferenzen stärker auf den Fehler der Messung aus als für große Differenzen.
- Art der Temperaturmessung:
Da keine konstante Durchmischung des Wassers im Kalorimeter gewährleistet werden kann ist eine Messung des Temperaturverlaufs sinnlos. Es wird so nur die Messung von lokalen Temperaturen ermöglicht. Erst nachdem sich das thermodynamische Gleichgewicht eingestellt hat, kann eine globale Systemgröße, die Endtemperatur T_E , gemessen werden. Es sollte also eine Messung der Temperatur genügen.
- Vorexperimente:
Bestimmte Vorexperimente könnten sich als nützlich erweisen. Zum Beispiel kann man durch eine Wasser-Wasser-Mischung die Wärmekapazität des Kalorimeters und seine Energieaufnahme bei bestimmten Temperaturen bestimmen. Dadurch lässt sich ein weiterer Fehler minimieren.

2 Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität

In diesem Versuch soll die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium im Temperaturbereich $T = 100K \dots 300K$ bestimmt werden. Dazu kühlen wir einen Alu-Zylinder mit flüssigem Stickstoff auf $100K$ ab und isolieren ihn dann gegen die Umgebung (so gut wie möglich) mit Styropor. Bei konstanter Heizleistung messen wir die Temperaturzunahme des Zylinders über die Zeit.

Die Temperaturmessung geschieht durch ein Thermoelement, welches eine temperaturabhängige Spannung misst. Geeicht wird das Thermoelement mit Eiswasser, sodass eine absolute Temperaturmessung möglich wird.

Es gilt:

$$\frac{\partial Q(t)}{\partial T} = \frac{\partial Q}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial T} = \frac{\partial(P_H \cdot t)}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial T} = P_H \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)^{-1}$$

mit P_H der konstanten Heizleistung. Setze dabei $\alpha(T) := \frac{\partial T}{\partial t}$ der momentanen Steigung des zeitlichen Temperaturverlaufs (dabei wurde angenommen, dass $\frac{\partial T}{\partial t}$ und $T(t)$ zumindest lokal invertierbar sind, was im Fall von T auf jeden Fall gegeben ist, da $T(t)$ idealerweise streng monoton steigend ist). Dann also:

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{P_H}{\alpha(T)}$$

Außerdem gilt:

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = c(T) \cdot m$$

Damit erhalten wir schließlich:

$$c(T) = \frac{P_H}{\alpha(T) \cdot m}$$

Dabei haben wir allerdings noch nicht die zusätzliche Erwärmung des Alu-Zylinders durch die Umgebung berücksichtigt. Diese können wir durch eine (im allgemeinen nicht zeitlich konstante) zusätzliche Heizleistung P_U modellieren und durch eine Referenzmessung (ohne P_H) bestimmen.

$$P_U = c(T) \cdot m \cdot \frac{\partial T_U}{\partial t} = c(T) \cdot m \cdot \beta(T)$$

mit $\beta(T) = \frac{\partial T_U}{\partial t}$. Analog erhalten wir damit:

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{(P_H + P_U)}{\alpha(T)}$$

Und somit schließlich:

$$c(T) = \frac{(P_H + P_U)}{m \cdot \alpha(T)} = \frac{(P_H + c(T) \cdot m \cdot \beta(T))}{m \cdot \alpha(T)}$$
$$\Rightarrow c(T) = \frac{P_H}{m} \cdot \frac{1}{\alpha(T) - \beta(T)}$$