



Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität fester Körper

Prof. Dr. rer. nat. habil. E. Döpel
Prof. Dr.-Ing. habil. O. R. Hofmann
Dipl.-Lehrer B. Kley

gültig für die Fachrichtungen AT, TI, KMT im Fachbereich ET/IT
 MB, ME im Fachbereich MB
 FT, AO, PiUS, WT im Fachbereich SciTec
 MT, BT im Fachbereich MT

	Bearbeiter 1	2	3
Name, Vorname			
Matrikel-Nr.			
Studiengang			
Prakt-GrNr			
Datum der Ver- suchsdurchführung			
Unterschrift			
Betreuer			
Vortestat Bestätigung der Messwerte			
Testat- Protokoll			

1 Zielstellung

Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes ist ein wichtiger Materialwert in der Wärmelehre. Er ist eine Kenngröße für das Wärmespeichervermögen des Materials. In diesem Versuch wird die spezifische Wärmekapazität von Festkörpern mit einer einfachen Methode bestimmt.

2 Physikalische Grundlagen

Die von einem Körper aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge ΔQ ist der Temperaturänderung ΔT und der Masse m des Körpers proportional

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

Der Proportionalitätsfaktor c heißt spezifische Wärmekapazität und . Sie ist über

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} \quad (2)$$

definiert. Damit ist c die Wärmemenge, die einem kg eines Stoffes zugeführt werden muss, um 1K Temperaturanstieg zu erzielen. Für Wasser (zwischen 14,5 und 15,5°C ist z.B. $c = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg K})$). Bei Gasen hängt die spezifische Wärmekapazität neben der Gasart auch von der Prozessführung (isobar oder isochor) ab. Für Metalle gilt bei Temperaturen ab Raumtemperatur näherungsweise die Regel von DULONG-PETIT

$$c \approx 24,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K } A_r} \quad \text{bzw.} \quad c_{\text{molar}} = c \cdot m_{\text{molar}} \approx 24,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol K}}. \quad (3)$$

A_r ist die relative Atommasse. Für das Kohlenstoffisotop ^{12}C ist definitionsgemäß $A_r = 12\text{g}$. Die Regel von DULONG-PETIT ist eine Folge des thermodynamischen Gleichverteilungssatzes, nach dem sich der Energieinhalt eines Körpers gleichmäßig auf alle Freiheitsgrade verteilt. In einem kristallinen Festkörper besitzt jedes Atom 6 Freiheitsgrade (potenzielle und kinetische Energie jeweils in drei Raumrichtungen). Deshalb ist die molare Wärmekapazität für alle kristallinen Materialien angenähert gleich dem in Gleichung (3) angegebenen Wert.

Die spezifische Wärmekapazität fester Körper kann mit der Mischungsmethode bestimmt werden. Man betrachtet zwei Körper mit den Massen m_1 und m_2 , die die spezifischen Wärmekapazitäten c_1 und c_2 besitzen und sich auf den verschiedenen Temperaturen T_1 und T_2 befinden. T_1 sei größer als T_2 . Man setzt weiterhin voraus, dass nur Wärme zwischen den beiden Körpern ausgetauscht und keine Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Es strömt Wärme vom Körper höherer Temperatur zum Körper niedrigerer Temperatur bis sich beide Körper auf gleicher Temperatur T_m (Mischtemperatur) befinden. Der wärmere Körper mit der Masse m_1 hat die Wärmemenge $\Delta Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_m)$ abgegeben und der ursprünglich kältere Körper hat die gleiche Wärmemenge $\Delta Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_m - T_2)$ aufgenommen.

Es gilt:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_m) = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_m - T_2) \quad (4)$$

Ist die spezifische Wärmekapazität eines der beiden Körper bekannt, so kann durch Messung der restlichen Größen die spezifische Wärmekapazität des zweiten Körpers aus Gleichung (4) ermittelt werden.

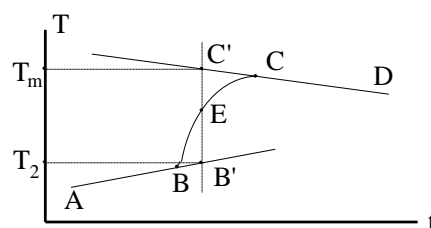
Als Körper bekannter spezifischer Wärmekapazität findet im allgemeinen Wasser Verwendung, das sich in einem wärmeisolierten Kalorimetergefäß befindet. Bei der praktischen Durchführung ist zu beachten, dass eine vollständige Isolation nicht zu erreichen ist. Insbesondere sind auch das Kalorimetergefäß mit seinen Zubehöerteilen (Thermometer, Rührer) aber auch die Umgebungsluft am Wärmeaustausch beteiligt.

Das Kalorimeter wird sich, wie das Wasser, zu Beginn des Wärmeaustausches auf der Temperatur T_2 und danach auf der Temperatur T_m befinden. Die Wärmeaufnahme des Kalorimeters $\Delta Q_k = C \cdot (T_m - T_2)$ kann man in die Energiebilanz ($\Delta Q_1 = \Delta Q_2 + \Delta Q_k$) einbeziehen, wenn die Wärmekapazität des Kalorimeters C (auch Wasserwert genannt) bekannt ist

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_m) = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_m - T_2) + C \cdot (T_m - T_2). \quad (5)$$

C lässt sich in einem Vorversuch ohne Probekörper aus Gleichung (5), indem man die Mischtemperatur beim Mischen von kaltem und warmem Wasser bestimmt. Der Wert von C ist vom Füllstand abhängig.

Weicht die Temperatur des Wassers im Kalorimeter wesentlich von der Temperatur der Umgebung ab, kann der Wärmeaustausch mit der Umgebung nicht vernachlässigt werden. Um diesen Einfluss auszuschalten, wendet man ein grafisches Verfahren an. Die Abbildung zeigt den Verlauf der im Kalorimeter gemessenen Temperatur T in Abhängigkeit von der Zeit.



Die Raumtemperatur liegt zwischen T_2 und T_m . Von A bis B steigt die Temperatur im Kalorimeter infolge Wärmeaufnahme aus der Umgebung an. Zur Zeit B wird der Probekörper in das Kalorimeter gebracht. Dadurch steigt die Temperatur steil bis C an und fällt dann bis D wieder langsam ab, weil das nunmehr wärmere Kalorimeter Wärme an die Umgebung abgibt. Man kann auf einen idealen unendlich schnellen Temperatúrausgleich extrapolieren, indem man das Kurvenstück AB vorwärts und das Kurvenstück CD rückwärts verlängert. Die richtigen Temperaturen T_m und T_2 ergeben sich aus den Schnittpunkten dieser Geraden mit einer Senkrechten C'B', die so gelegt wird, dass die Flächenstücke BB'E und CC'E gleich groß sind.

3 Hinweise zur Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Dewar-Gefäß als Kalorimeter, einem Thermometer, einer Waage und den Probekörpern.

Vor Beginn des Versuches muss zunächst die Wärmekapazität des Kalorimeters bestimmt werden. Dazu wird das Kalorimeter mit einer Menge Wasser (70 ml) der Temperatur T_2 gefüllt (Zimmertemperatur). Anschließend wird das Gefäß mit der gleichen Menge Wasser von etwa $\vartheta_1 \approx 50^\circ\text{C}$ aufgefüllt. Das Wasser wird vermischt und T_m bestimmt. Entsprechend der Formel (5) bestimmt sich C aus

$$C = \frac{c_w [m_1(T_1 - T_m) - m_2(T_m - T_2)]}{(T_m - T_2)} \quad (6)$$

(c_w : spezifische Wärmekapazität des Wassers, $c_w = 4,1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$)

Die ermittelte Wärmekapazität gilt nur für den Füllstand des Kalorimeters, der bei dem Versuch nach Mischung vorlag.

Zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität der Festkörper werden die Materialproben gewogen, in einzelne Reagenzgläser gefüllt und im Wasserbad auf Siedetemperatur des Wassers erhitzt. Die Siedetemperatur wird gemessen. Das Kalorimeter wird mit 110 ml Wasser gefüllt. Zusammen mit dem Probenvolumen (30 ml) erhält man wieder einen Füllstand wie bei der Bestimmung des Wasserwertes. Die Temperatur des Wassers wird etwa 5 min. lang in Abständen von ca. 30 s gemessen. Anschließend bringt man schnell die Materialprobe (jede Probe mit Gesamtvolumen ≈ 30 ml) in das Kalorimetergefäß und misst in Abständen von 10 s die Temperatur, bis der Temperatenausgleich zwischen Körper und Wasser beendet ist. Es ist darauf zu achten, dass mit den Probestücken kein Wasser in das Kalorimeter gelangt. Zwischenzeitlich soll die Probe immer wieder vorsichtig bewegt werden. Dabei soll Thermometer nicht in Kontakt mit der Probe kommen. Nach dem Temperatenausgleich ist noch etwa 5 min. lang alle 30 s die Abkühltemperatur aufzunehmen. Die Temperaturen T_2 und T_m werden dem anzufertigenden Diagramm entnommen.

4 Aufgabenstellung, Messprotokoll, Auswertung

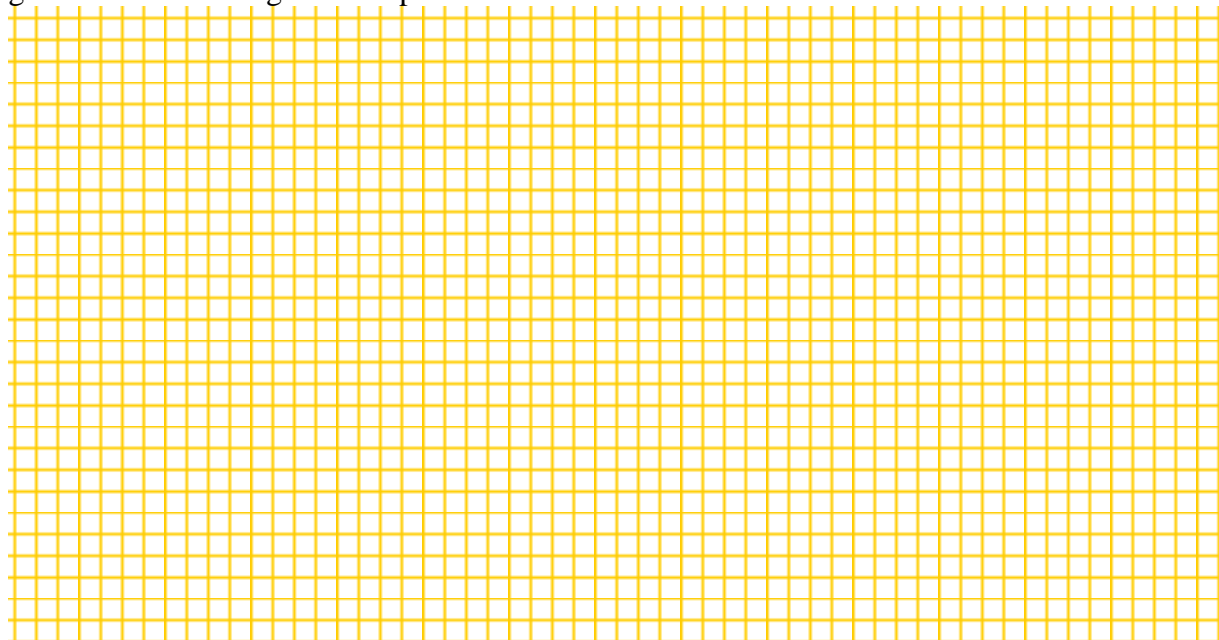
1) Bestimmen Sie die Wärmekapazität des Kalorimeters

Zeit t										
T										
Zeit t										
T										
m_1	m_2		T_1		T_2		T_m			
Formel							Wert			
$C =$										

2) Bestimmen Sie die spezifische Wärmekapazität von zwei Probematerialien

Probe 1											
Zeit t											
T											
Zeit t											
T											
Zeit t											
T											
Zeit t											
T											
m_1		m_2			T_1			T_2		T_m	

grafische Darstellung des Temperaturverlaufes

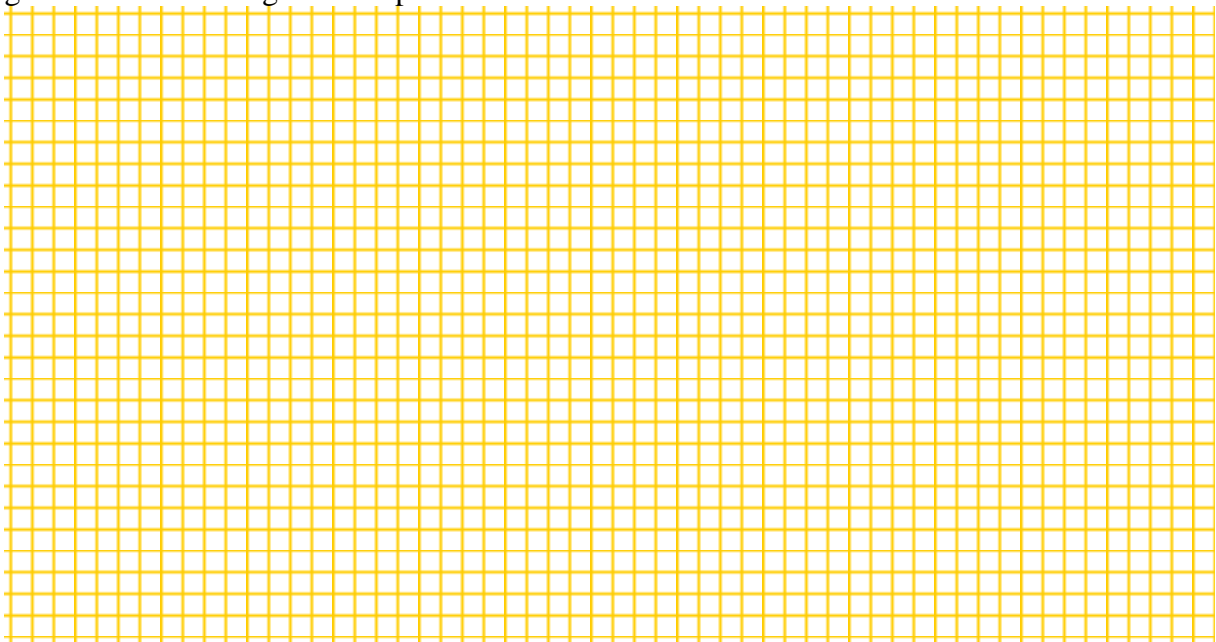


Berechnung der spezifischen Wärmekapazität von Probe 1

Formel	Wert
$c =$	

Probe 2										
Zeit t										
T										
Zeit t										
T										
Zeit t										
T										
Zeit t										
T										
m_1		m_2		T_1		T_2		T_m		

grafische Darstellung des Temperaturverlaufes



Berechnung der spezifischen Wärmekapazität von Probe 2

Formel	Wert
$c =$	

3) Diskutieren Sie Fehlerquellen

4) Prüfen Sie die Regel von DULONG-PETIT durch Vergleich mit dem Tabellenwert.

	Probe 1:	Probe 2:
Tabellenwert c (mit Quelle)		
rel. Atommasse A_r		
c nach DULONG-PETIT		
Messwert c		

Diskussion:

5 **Schwerpunkte zum Kolloquium**

- Erster Hauptsatz der Thermodynamik
- Zustands- und Prozessgrößen
- Zustandsgleichungen
- Thermodynamische Systeme
- spezifische Wärmekapazität von Festkörpern
- atomare Masseinheit u
- Atom- und Molekülmasse
- relative Atommasse A_r , relative Molekülmasse M_r , Stoffmenge, Definition der SI-Grundeinheit mol
- AVOGADRO-Konstante, LOSCHMIDT'sche Konstante
- Besonderheiten der spezifischen Wärmekapazität von Gasen

6 **Literatur**

Becker, Jodl: Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1991

D. Geschke: Physikalisches Praktikum, B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, 12. Auflage 2001

H.J. Eichler, H.D. Kronfeldt, J. Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer Verlag, 2. Auflage 2005

W. Walcher Praktikum der Physik, , B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, 9. Auflage 2006