

W 4 Spezifische Wärmekapazität von Festkörpern

1. Aufgabenstellung

Die spezifische Wärmekapazität zweier fester Probekörper ist nach der Mischungsmethode zu bestimmen.

- 1.1 Die Wärmekapazität eines Kalorimeters ist mindestens zweimal nach der Mischungsmethode zu bestimmen. Die Mischungstemperatur ist durch Extrapolation aus dem Temperatur-Zeit-Diagramm zu ermitteln.
- 1.2 Die spezifische Wärmekapazität zweier Probekörper ist nach der Mischungsmethode zu bestimmen. Die Mischungstemperatur ist wieder aus dem Temperatur-Zeit-Diagramm zu ermitteln.
- 1.3 Die molare Masse des Probenmaterials ist nach der Regel von Dulong-Petit zu errechnen.

2. Grundlagen zum Versuch

- Innerhalb nicht allzu großer Temperaturbereiche ist die Wärmemenge Q , die ein Körper bei einer Temperaturänderung aufnimmt oder abgibt, der Temperaturdifferenz $t_2 - t_1$ zwischen der Endtemperatur t_2 und der Anfangstemperatur t_1 proportional. Infinitesimal betrachtet bedeutet das, dass die Wärmekapazität eines homogenen Körpers durch $C = \frac{dQ}{dT}$.

Für $Q = c \cdot m \cdot dT$ folgt für die Wärmekapazität des Körpers $C = c \cdot m$, wobei c die spezifische Wärmekapazität des Körpers in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ und m seine Masse in kg ist.

Für die molare Wärmekapazität gilt die Beziehung $c_m = c \cdot M = \frac{c \cdot m}{n} = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT}$, wobei n die Stoffmenge

in mol ist, c_m in $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$. Somit ist $M = \frac{c_m}{c}$ (1)

- Die Wärmekapazität eines Kalorimeters kann man durch Mischung (z.B. Eingießen einer wärmeren Flüssigkeit in eine kältere sich in dem Kalorimeter und mit ihm im thermischen Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit) mit Hilfe des Energieerhaltungssatz aus der Mischungstemperatur bestimmt werden.

Es gilt im ersten Versuch: Die von der wärmeren Flüssigkeit abgegebene Wärmeenergie ist gleich der von der kälteren Flüssigkeit und dem Kalorimeter aufgenommenen Wärmeenergie:

$$m_w c_W (\vartheta_w - \vartheta_m) = m_k c_W (\vartheta_m - \vartheta_k) + C_K (\vartheta_m - \vartheta_k) \quad (2)$$

$$\text{und nach } C_K \text{ aufgelöst: } C_K = c_W \frac{m_w (\vartheta_w - \vartheta_m) - m_k (\vartheta_m - \vartheta_k)}{(\vartheta_m - \vartheta_k)} = c_W \left[m_w \frac{(\vartheta_w - \vartheta_m)}{(\vartheta_m - \vartheta_k)} - m_k \right] \quad (3)$$

mit C_K der Wärmekapazität des Kalorimeters in $J \cdot K^{-1}$,

c_w der spezifischen Wärmekapazität von Wasser in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$,

m_k und m_w die Massen von kaltem und warmem Wasser in kg ,

ϑ_k , ϑ_w und ϑ_m respektive der kalten, warmen und der Mischtemperatur in $^{\circ}C$.

Beim zweiten Versuch gilt, dass die von der kälteren Flüssigkeit aufgenommene Wärmeenergie gleich der von dem Kalorimeter und der wärmeren Flüssigkeit abgegebenen Wärmeenergie ist:

$$m_k c_W (\vartheta_m - \vartheta_k) = m_w c_W (\vartheta_w - \vartheta_m) + C_K (\vartheta_w - \vartheta_m) \quad (4)$$

und nach C_K aufgelöst:
$$C_K = c_W \frac{m_k(\vartheta_m - \vartheta_k) - m_w(\vartheta_w - \vartheta_m)}{(\vartheta_w - \vartheta_m)} = c_W \left[m_k \frac{(\vartheta_m - \vartheta_k)}{(\vartheta_w - \vartheta_m)} - m_w \right] \quad (5)$$

- Voraussetzung für die Gültigkeit der Formeln ist, dass die Mischung bei konstantem Druck (isobarer Prozess) erfolgt und keine Änderung des Aggregatzustandes der beteiligten Stoffe stattfinden.
- Da der Temperaturengleich nicht momentan erfolgt – und ferner schon vor dem Erreichen der eigentlichen Mischtemperatur ein gewisser Wärmeverlust an die Umgebung stattfindet, so dass die theoretische Mischtemperatur nicht ganz erreicht wird – muss diese aus der Graphik extrapoliert werden. Man kann nun beweisen, dass man auf den Fall unendlich schnellen (also auch verlustlosen) Ausgleichs extrapolieren kann, indem man die Anlaufkurve CD (siehe Abb. 4.1.1) rückwärts verlängert und senkrecht zur Zeitachse eine Gerade EF derart zeichnet, dass die Flächen BEG und CFG, die sie mit der gemessenen Kurve bildet, gleich groß sind. Im allgemeinen genügt Zeichnung nach Augenmaß. Die in E und F abgelesenen Temperaturen ϑ_{k1} und ϑ_{m1} entsprechen dann dem Fall unendlich schnellen Ausgleichs.
- Im zweiten Teil der Aufgabe (1.2) wird nun der ermittelte Wert der Wärmekapazität des Kalorimeters verwendet, um die spezifische Wärmekapazität zweier Metallener Gegenstände zu bestimmen. Nach dem Energieerhaltungssatz gilt, dass die vom Kalorimeter und dem Wasser abgegebene Wärme gleich der vom Gegenstand aufgenommenen ist: $m_G c_G (\vartheta_m - \vartheta_G) = m_w c_W (\vartheta_w - \vartheta_m) + C_K (\vartheta_w - \vartheta_m)$ (6).
Nach c_G aufgelöst ergibt sich:
$$c_G = \frac{m_w c_W (\vartheta_w - \vartheta_m) + C_K (\vartheta_w - \vartheta_m)}{m_G (\vartheta_m - \vartheta_G)} = (m_w c_W + C_K) \frac{(\vartheta_w - \vartheta_m)}{m_G (\vartheta_m - \vartheta_G)} \quad (7)$$
 mit c_G der spezifischen Wärmekapazität des Gegenstands in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ und ϑ_G seiner Temperatur in $^{\circ}C$.

- Bei Gasen muss zwischen der spezifischen Wärmekapazität bzw. Molwärme bei konstantem Volumen (c_V) und der bei konstantem Druck (c_p) unterschieden werden. Für die molare Wärmekapazität fester Körper gilt die Regel von Dulong-Petit. Sie besagt, dass bei nicht all zu niedrigen Temperaturen $c_m = 3R \approx 25 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ und vom Stoff unabhängig ist (wobei R die molare Gaskonstante ist). Dies ergibt sich aus dem Gleichverteilungssatz, der besagt, dass die einem Körper zugeführte Wärmeenergie sich gleichmäßig auf alle Freiheitsgrade seiner Atome oder Moleküle verteilt und je Teilchen und Freiheitsgrad $\frac{kT}{2}$ beträgt, bzw. je Mol und Freiheitsgrad $N_A \frac{kT}{2} = \frac{RT}{2}$ ($k = \frac{R}{N_A}$, die Boltzmann-Konstante). Da die Bausteine im Kristallgitter eines Festkörpers unter dem Einfluss der Wärme quasi-elastischen Schwingungen um ihre festen Ruhelagen ausführen, haben sie im einfachsten Fall 3 Schwingungsfreiheitsgrade in den 3 Raumrichtungen. Die schwingenden Atome besitzen in Folge des Wirkens der Bindungskräfte aber zusätzlich potentielle Energie, die im zeitlichen Mittel gleich der kinetischen Energie ist. Somit ergibt sich die Molwärme von $c_m = 3 \cdot \frac{R}{2} + 3 \cdot \frac{R}{2} = 3R$ (8). Somit kann man die molare Masse der Probekörper nach (1) und (8) anhand der Beziehung $M = \frac{3R}{c_G}$ bestimmen (9).

3. Versuchsaufbau

- Wägung der Massen der Flüssigkeiten: $\Delta m = \pm 0,01 g$
- Zeitmessung: $\Delta t = \pm 0,5 s$
- Temperaturmessung: $\Delta \vartheta = \pm 0,1 ^{\circ}C$

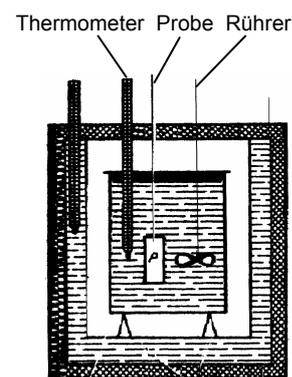


Abb. 3.1 Kalorimeter

4. Messergebnisse

4.1 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters (vgl. 1.1):

- Erster Versuch: Kaltes Wasser im Kalorimeter, warmes wird dazugeschüttet.

Verwendete Massen der Flüssigkeiten (Wasser): $m_{w1} = (202,83 \pm 0,01) \text{ g}$ $m_{k1} = (202,98 \pm 0,01) \text{ g}$

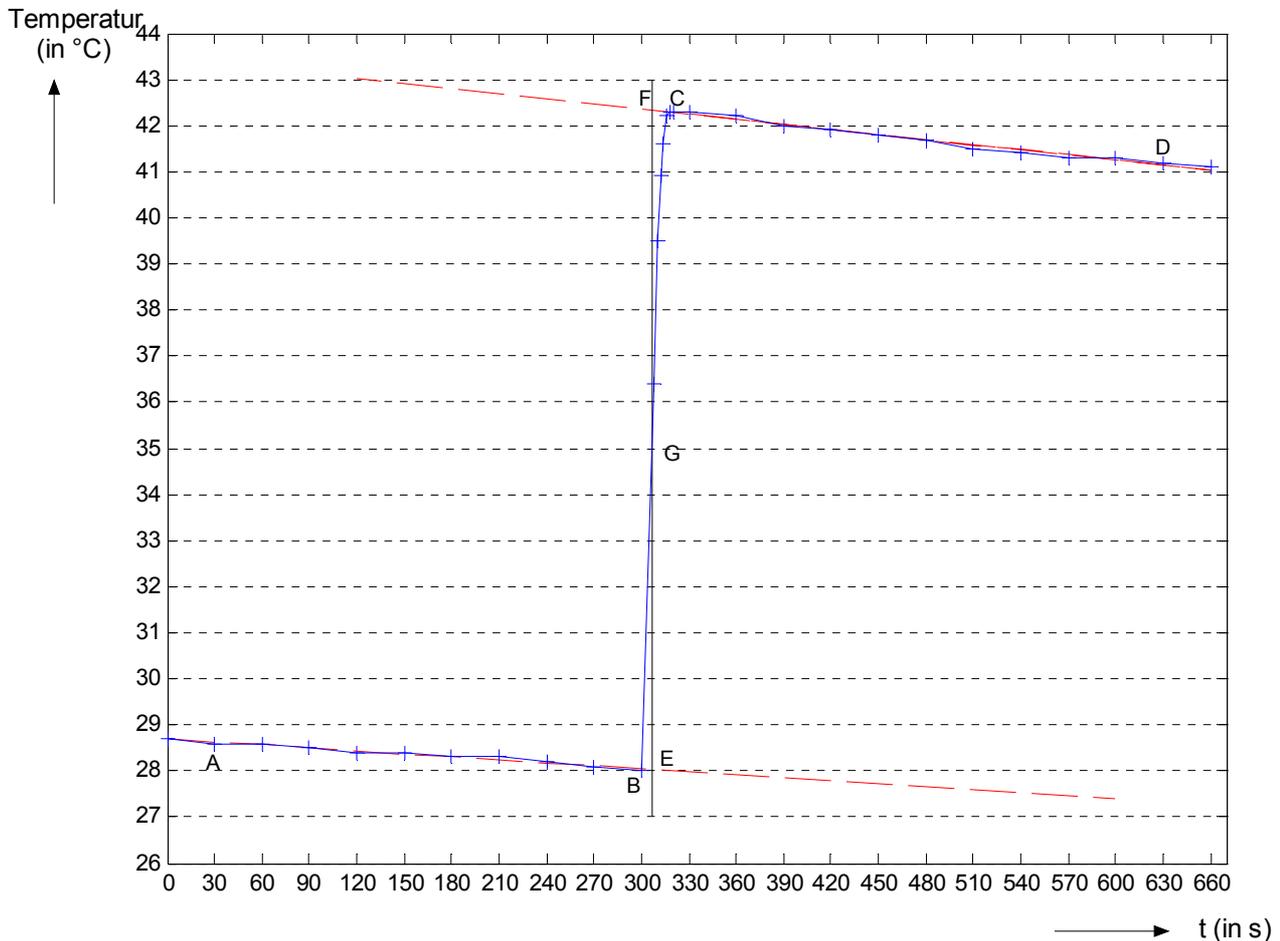


Abb. 4.1.1 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim ersten Versuch

t (in s)	ϑ_{Kal} (in °C)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in °C)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in °C)
0	28,7	310	39,5	390	42
30	28,6	312	40,9	420	41,9
60	28,6	314	41,6	450	41,8
90	28,5	316	42,2	480	41,7
120	28,4	318	42,3	510	41,5
150	28,4	320	42,3	540	41,4
180	28,3	322	42,3	570	41,3
210	28,3	324	42,3	600	41,3
240	28,2	326	42,3	630	41,2
270	28,1	328	42,3	660	41,1
300	28	330	42,3		
308	36,4	360	42,2		

Tabelle 4.1.1 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim ersten Versuch

Temperaturen des warmen Wassers unmittelbar vor dem Mischen: $\vartheta_{w1} = (58,8 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$.

Durch Extrapolation ergibt sich in E die Temperatur $\vartheta_{k1} = (28,0 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$

und in F die Mischtemperatur $\vartheta_{m1} = (42,3 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$.

Aus (3) ergibt sich somit mit $c_w = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ für $C_{K(1)} = 128,18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$.

- Zweiter Versuch: Warmes Wasser im Kalorimeter, kaltes wird dazugeschüttet.

Verwendete Massen der Flüssigkeiten (Wasser): $m_{w2} = (203,44 \pm 0,01) \text{ g}$ $m_{k2} = (203,65 \pm 0,01) \text{ g}$

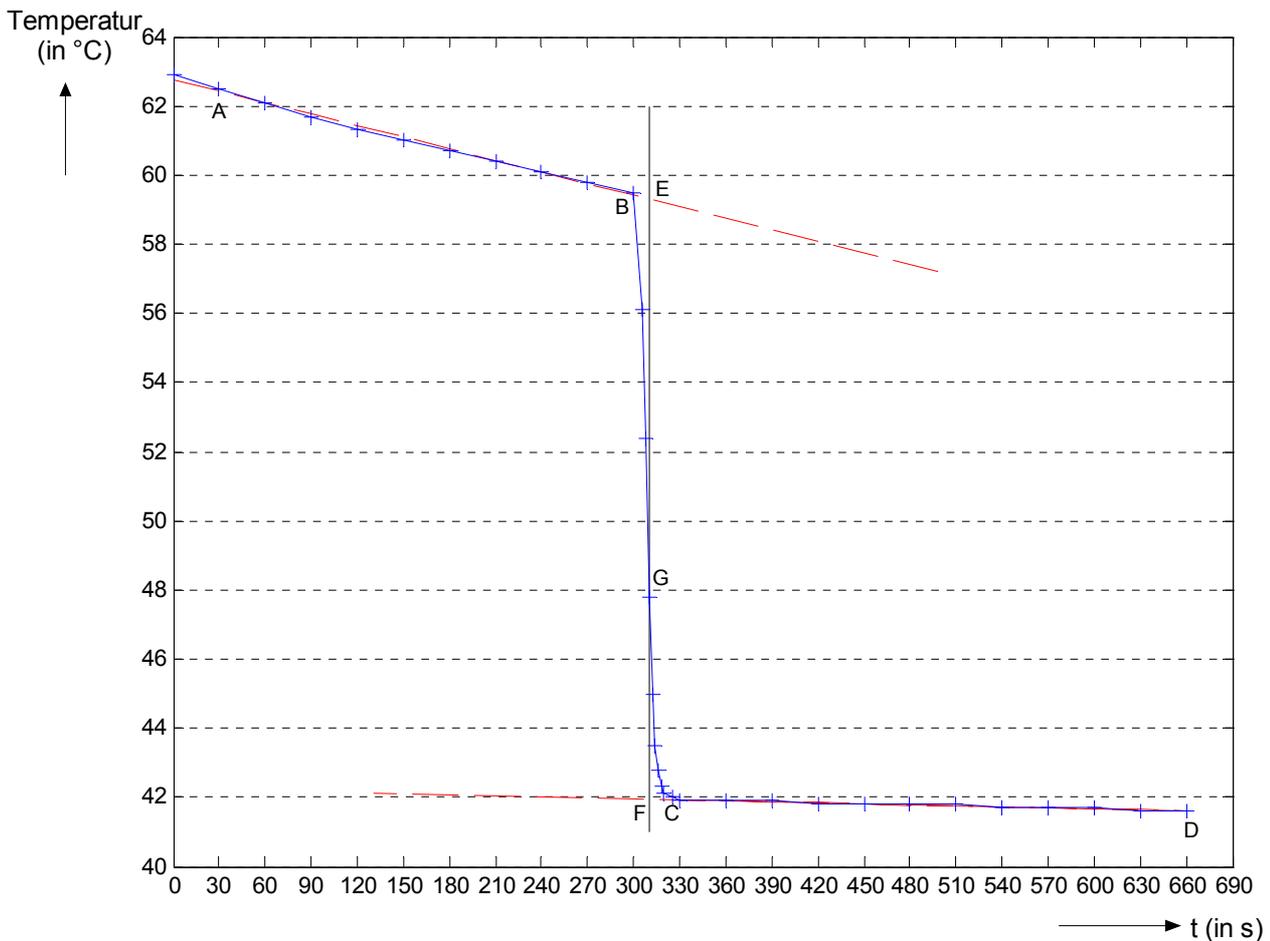


Abb. 4.1.2 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim zweiten Versuch

t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)
0	62.9	306	56.1	390	41.9
30	62.5	308	52.4	420	41.8
60	62.1	310	47.8	450	41.8
90	61.7	312	45.0	480	41.8
120	61.3	314	43.5	510	41.8
150	61.0	316	42.8	540	41.7
180	60.7	318	42.3	570	41.7
210	60.4	320	42.1	600	41.7
240	60.1	325	42.0	630	41.6
270	59.8	330	41.9	660	41.6
300	59.5	360	41.9		

Tabelle 4.1.2 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim zweiten Versuch

Temperaturen des kalten Wassers unmittelbar vor dem Mischen: $\vartheta_{k_2} = (23,5 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$.

Analog zum ersten Versuch wird nun durch Extrapolation in E die Temperatur $\vartheta_{w_2} = (59,3 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$ errechnet und in F die Mischtemperatur $\vartheta_{m_2} = (42,3 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$.

Aus (5) ergibt sich somit mit $c_w = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ für $C_{K(2)} = \underline{\underline{91,18 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}}}$.

4.2 Bestimmung der Wärmekapazität von zwei Gegenständen (vgl. 1.2):

- Erster Gegenstand: Gegenstand mit Raumtemperatur in heißes Wasser im Kalorimeter.

Masse des Wassers im Kalorimeter: $m_{w_3} = (265,30 \pm 0,01) \text{ g}$

Masse des Gegenstands: $m_{G1} = (92,99 \pm 0,01) \text{ g}$

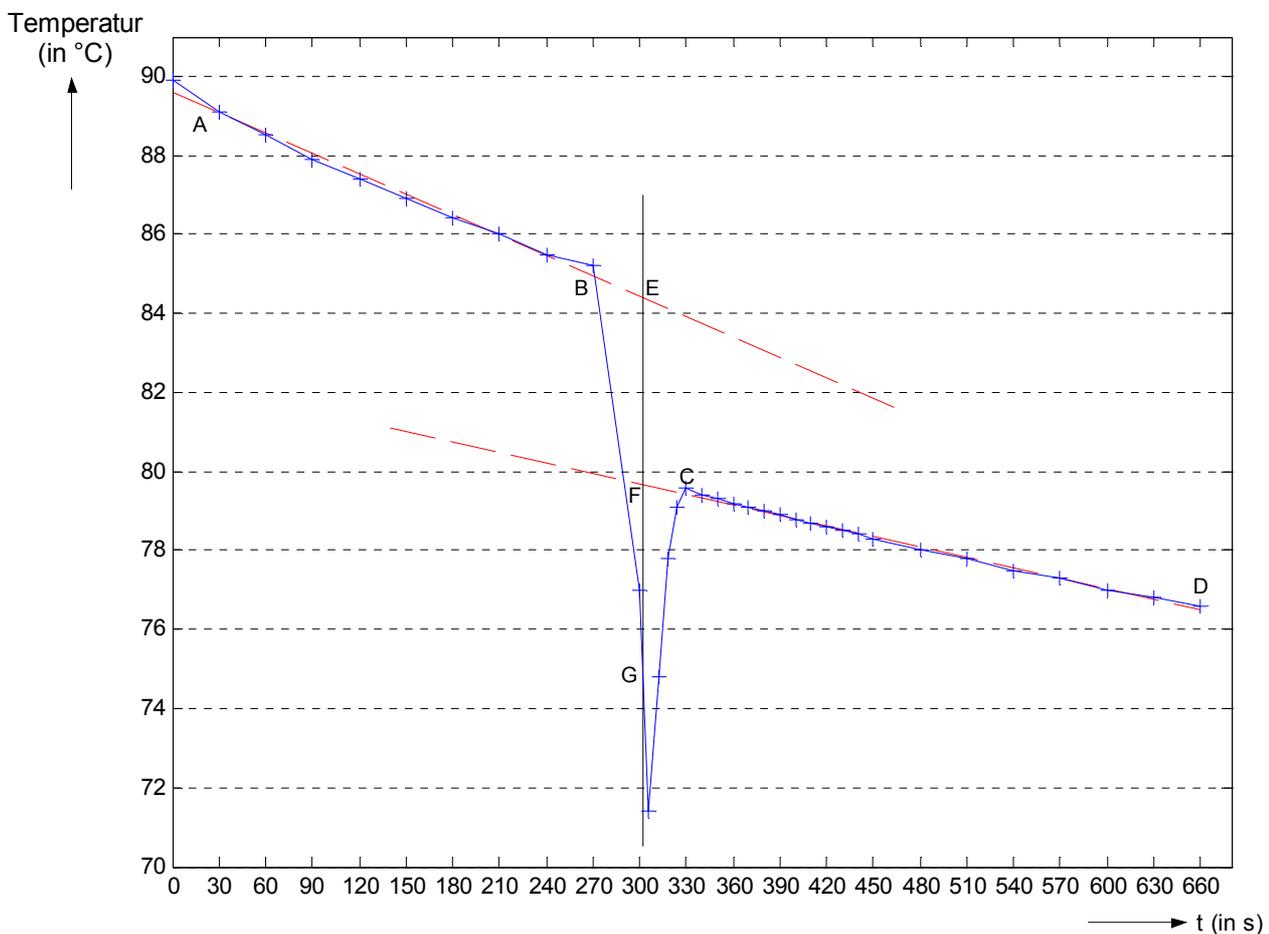


Abb. 4.2.1 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim ersten Gegenstand

t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)
0	89,9	360	79,2	420	78,6
30	89,1	370	79,1	430	78,5
60	88,5	380	79,0	440	78,4
90	87,9	390	78,9	450	78,3
120	87,4	400	78,8	480	78,0
150	86,9	300	77,0	510	77,8

180	86,4	306	71,4	540	77,5
210	86,0	312	74,8	570	77,3
240	85,5	318	77,8	600	77,0
270	85,2	324	79,1	630	76,8
340	79,4	330	79,6	660	76,6
350	79,3	410	78,7		

Tabelle 4.2.1 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim ersten Gegenstand

Aufgrund des offensichtlichen Messfehlers (extremer Ausschlag des Temperaturverlaufs im Mittelteil), denken wir uns einen ähnlichen Verlauf der Kurve wie beim zweiten Versuch zur Bestimmung der Senkrechten, um die Punkte E und F zu finden.

Temperaturen des Gegenstands (gemessen im Wasserbad) unmittelbar vor dem Mischen: $\vartheta_{G1} = (21,5 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$.

Analog zum zweiten Versuch wird nun durch Extrapolation in E die Temperatur $\vartheta_{w3} = (84,4 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$ errechnet

und in F die Mischtemperatur $\vartheta_{m3} = (79,7 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$. Aus (7) ergibt sich somit mit $c_w = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

für $C_{K(1)}$ die spezifische Wärmekapazität des ersten Gegenstandes $c_{G1(1)} = 1075,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ bzw.

für $C_{K(2)}$ die spezifische Wärmekapazität des ersten Gegenstandes $c_{G1(2)} = 1043,4 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- Zweiter Gegenstand: Gegenstand mit Raumtemperatur in heißes Wasser im Kalorimeter.

Masse des Wassers im Kalorimeter: $m_{w4} = (268,10 \pm 0,01) \text{ g}$

Masse des Gegenstands: $m_{G2} = (243,43 \pm 0,01) \text{ g}$

t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)	t (in s)	ϑ_{Kal} (in $^\circ\text{C}$)
0	91,9	321	82,6	375	80,7
30	91,3	324	82,2	378	80,7
60	90,7	327	82,0	381	80,7
90	90,2	330	81,8	384	80,6
120	89,8	333	81,6	387	80,6
150	89,3	336	81,4	390	80,6
180	89,0	339	81,3	420	80,4
210	88,6	342	81,2	450	80,1
240	88,2	345	81,1	480	79,9
270	88,0	348	81,0	510	79,7
300	85,5	351	81,1	540	79,5
303	85,3	354	81,0	570	79,3
306	85,1	357	81,0	600	79,0
309	84,5	360	80,9	630	78,8
312	84,1	363	80,8	660	78,6
315	83,3	366	80,8	690	78,4
318	82,9	369	80,7	720	78,3
		372	80,8		

Tabelle 4.2.2 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim zweiten Gegenstand

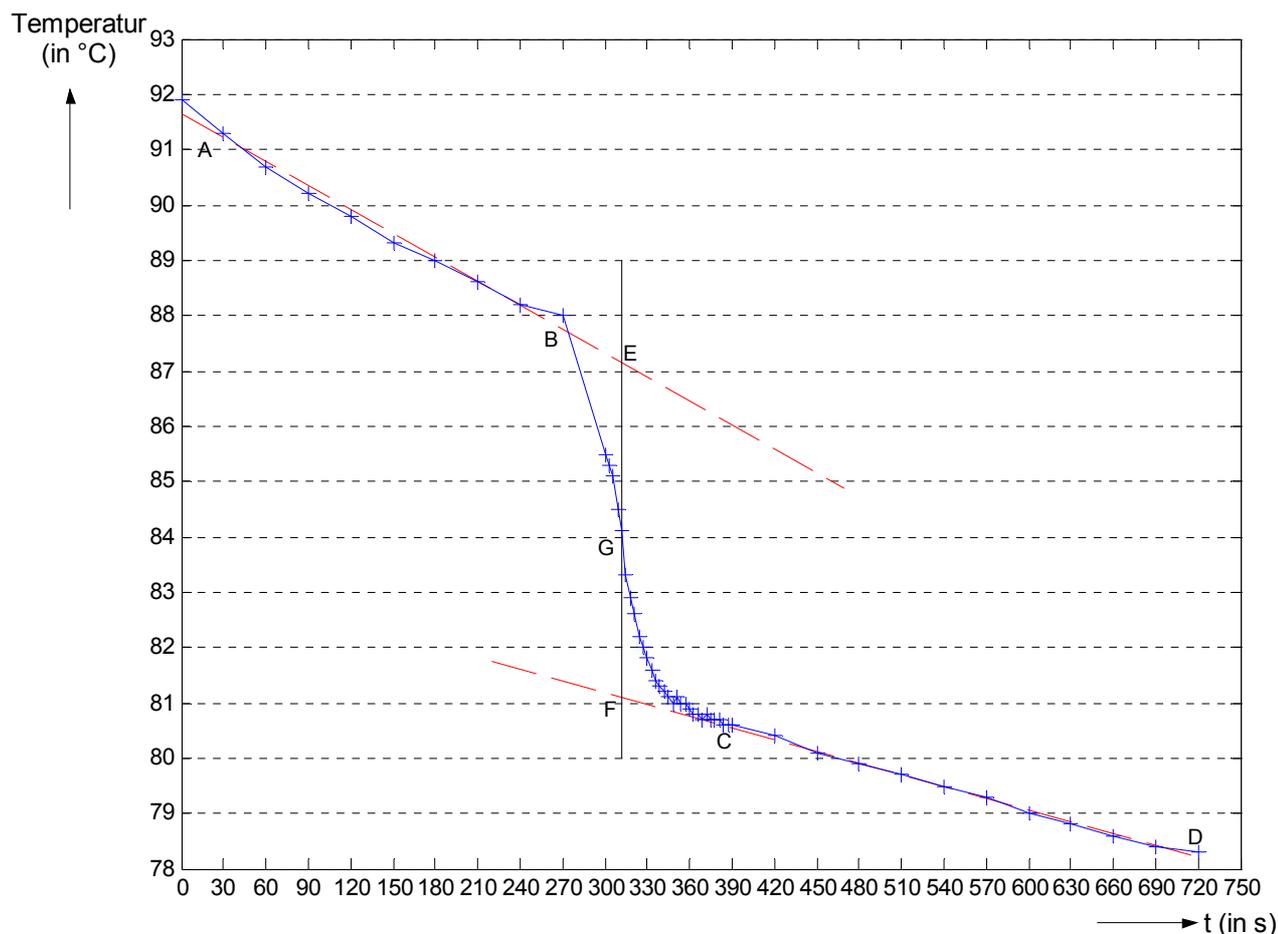


Abb. 4.2.1 Temperaturverlauf im Kalorimeter beim ersten Gegenstand

Temperaturen des Gegenstands (gemessen im Wasserbad) unmittelbar vor dem Mischen: $\vartheta_{G2} = (21,6 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$. Analog zum zweiten Versuch wird nun durch Extrapolation in E die Temperatur $\vartheta_{w4} = (87,1 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ errechnet und in F die Mischtemperatur $\vartheta_{m4} = (81,1 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$. Aus (7) ergibt sich somit mit $c_w = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ für $C_{K(1)}$ die spezifische Wärmekapazität des zweiten Gegenstandes $c_{G2(1)} = 517,9 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ bzw. für $C_{K(2)}$ die spezifische Wärmekapazität des zweiten Gegenstandes $c_{G2(2)} = 502,6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

4.3 Bestimmung der molaren Masse der Probekörper (vgl. 1.3):

Nach (9) ergibt sich

für $C_{K(1)}$ (also anhand von $c_{G1(1)}$) ein $M_{G1(1)} = 23,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,

für $C_{K(2)}$ (also anhand von $c_{G1(2)}$) ein $M_{G1(2)} = 23,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,

für $C_{K(1)}$ (also anhand von $c_{G2(1)}$) ein $M_{G2(1)} = 48,2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,

für $C_{K(2)}$ (also anhand von $c_{G2(2)}$) ein $M_{G2(2)} = 49,6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

5. Messunsicherheiten

Fehlerfortpflanzung bei der Bestimmung der Wärmekapazitäten des Kalorimeters:

$$\Delta C_{K(1)} = \left| \frac{\partial C_{K(1)}}{\partial m_{w1}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial C_{K(1)}}{\partial m_{k1}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial C_{K(1)}}{\partial \vartheta_{w1}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial C_{K(1)}}{\partial \vartheta_{k1}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial C_{K(1)}}{\partial \vartheta_{m1}} \right| \Delta \vartheta$$

$$\Delta C_{K(1)} = 0,04 + 0,04 + 5,94 + 6,85 + 12,79 = \pm 25,66 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta C_{K(2)} = \left| \frac{\partial C_{K(2)}}{\partial m_{w2}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial C_{K(2)}}{\partial m_{k2}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial C_{K(2)}}{\partial \vartheta_{w2}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial C_{K(2)}}{\partial \vartheta_{k2}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial C_{K(2)}}{\partial \vartheta_{m2}} \right| \Delta \vartheta$$

$$\Delta C_{K(2)} = 0,05 + 0,04 + 0,50 + 0,55 + 1,06 = \pm 2,20 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

Fehlerfortpflanzung bei der Bestimmung der Wärmekapazität des zweiten Körpers:

$$\Delta c_{G2(1)} = \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial m_{w4}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial m_{G2}} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial \vartheta_{w4}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial \vartheta_{G2}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial \vartheta_{m4}} \right| \Delta \vartheta + \left| \frac{\partial c_{G2(1)}}{\partial C_{K(1)}} \right| \Delta C_{K(1)}$$

$$\Delta c_{G2(1)} = 0,003 + 22,28 + 2,29 + 2,47 + 0,18 + 0,12 = \pm 27,34 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

6. Zusammenfassung und Diskussion

Bei der Durchführung des Versuches traten verschiedene Fehlerkomponenten auf. Die Wägung der Wassermengen war nicht die Quelle des größten Fehlers (diese Fehlerkomponenten hatte den geringsten Anteil bei der Fehlerfortpflanzung). Die Ungenauigkeit bei den Massen entsteht viel mehr durch das Verbleiben eines kleinen Rests (ein Paar Tropfen) an der Gefäßwand beim Umschütten in das Kalorimeter.

Der größte Fehler entsteht hier bei der Extrapolation der Mischtemperatur (siehe entspr. Summand in der Fehlerfortpflanzung).

Ein anderer Grund für die relativ unterschiedlichen Werte der Wärmekapazität des Kalorimeters ist sicher dessen schlechte Wärmeisolierung.

Bei der Bestimmung der Wärmekapazität des ersten Gegenstand entstand die Messwertverfälschung (starker Ausschlag des Temperaturverlaufs nach unten) sicherlich durch Berührung des Thermometers mit dem Probekörper. Dadurch wurde auch die graphische Ermittlung der Mischtemperatur per Extrapolation schwierig, daher sind die ermittelten Werte nicht sehr repräsentativ. Es lässt sich trotzdem die Vermutung aufstellen, dass es sich bei dem Körper um Aluminium handeln könnte (Vergleich mit den Tabellenwerten für spezifische Wärmekapazität und molare Masse von $c_m = 900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ und $M(\text{Al}) = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).

Die Bestimmung dieser Werte für den zweiten Körper scheint wesentlich genauer zu sein, es könnte sich hier um Stahl handeln (Literaturwert: $c_m = 470 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

Wärmekapazität des Kalorimeters:

$$\underline{\underline{C_{K(1)} = (128,18 \pm 25,66) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{C_{K(2)} = (91,18 \pm 2,20) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

die spezifische Wärmekapazität des ersten Gegenstandes:

$$\underline{\underline{c_{G1(1)} = (1075,5 \pm \Delta c_{G1(1)}) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{c_{G1(2)} = (1043,4 \pm \Delta c_{G1(1)}) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

spezifische Wärmekapazität des zweiten Gegenstandes:

$$\underline{\underline{c_{G2(1)} = (517,9 \pm 27,34) J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{c_{G2(2)} = (502,6 \pm 27,34) J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}}$$

Molare Massen der Probekörper:

$$\underline{\underline{M_{G1(1)} = 23,2 g \cdot mol^{-1}}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{M_{G1(2)} = 23,9 g \cdot mol^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{M_{G2(1)} = 48,2 g \cdot mol^{-1}}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{\underline{M_{G2(2)} = 49,6 g \cdot mol^{-1}}}$$

7. Literaturangaben

- <http://www.uni-magdeburg.de/iep/gp12/M7.html>
- Heribert Stroppe: „Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften“, Fachbuchverlag Leipzig, S. 142 ff
- Heribert Stroppe: „Physik – Beispiele und Aufgaben“, Band 1 Fachbuchverlag Leipzig, S. 130
- Wilhelm H. Westphal: „Physikalisches Praktikum“, Friedrich Vieweg + Sohn Verlagsgesellschaft Braunschweig, S. 79 ff
- Ilberg, Kröttsch, Geschke: „Physikalisches Praktikum“, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, S. 122 ff