

Physikalisches Anfängerpraktikum - P2

**Spezifische Wärmekapazität
P2-33**

Auswertung von
Tobias Renz und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 28. Juni 2012



Versuch P2-33:

Spezifische Wärmekapazität

Raum F1-10

Bei diesem Versuch zur spezifischen Wärmekapazität fester Körper geht es in den beiden Versuchsteilen um unterschiedliche Lernziele.

Bei der Messung der spezifischen Wärmekapazität eines Metalls in der Nähe der Zimmertemperatur mit Hilfe von Mischungsversuchen im Kalorimeter soll durch möglichst geschicktes Vorgehen der Meßfehler minimiert werden. Das Meßprinzip ist von der Schule her längst bekannt.

Bei der Messung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium über einen großen Temperaturbereich geht es einerseits um das Kennenlernen dieses den meisten Praktikanten noch unbekannten Phänomens, das klassisch nicht erklärbar ist, und andererseits um das benutzte Meßverfahren.

Aufgaben:

1. Bestimmen Sie so genau, wie es mit den verfügbaren Geräten möglich ist, die spezifische Wärmekapazität von Aluminium und höchstens noch einem weiteren der Metalle Kupfer, Messing, Blei und Zinn. Finden Sie durch Überlegung und durch Vergleichsexperimente heraus, wie ein solcher Versuch durchzuführen ist.

Wichtige Fragen sind beispielsweise: Benützt man ein kompaktes Metallstück oder Granulat, heißes Metall und kaltes Wasser oder umgekehrt? Ist Wasser oder eine andere Flüssigkeit geeigneter? Was sind günstigste Anfangs- bzw. günstigste Endtemperatur? Was für Massen (Wasser und Metall) benutzt man und wie und wann bestimmt man sie? Muß man den Massenfehler durch anhaftendes Wasser oder die an das Kalorimeter und Zubehör abgegebene Wärmemenge berücksichtigen? Geeignetes Thermometer (Genauigkeit, Ablesbarkeit, störende Masse)? Jeweils eine Temperaturablesung oder Messung der Temperatur-Zeit-Abhängigkeit? Sind Vorexperimente mit bekannten Sollergebnissen (z.B. Wasser-Wasser-Mischung) sinnvoll?

Beschreiben und begründen Sie Ihre Versuchsplanung. Messen Sie sehr sorgfältig. Wiederholen Sie Messungen. Variieren Sie das Verfahren. Äußern Sie sich am Ende der Auswertung noch einmal zum Verfahren und geben Sie mit Begründungen an, welche besten Versuchsbedingungen Sie jetzt wählen würden.

2. Messen Sie die spezifische Wärmekapazität von Aluminium in Abhängigkeit von der Temperatur zwischen etwa 100K und 300K.

Kühlen Sie dazu den Aluminium-Hohlzylinder mit flüssiger Luft (flüssigem Stickstoff) in einem kleinen Styroporkasten ab. Dabei ist das Tragen einer **Schutzbrille** vorgeschrieben! Heizen Sie dann mit Hilfe der im Zylinder eingebauten Heizwicklung den Alu-Zylinder innerhalb des Styropor-Isolierbehälters bei konstanter Heizleistung (ca. 20-30W; Spannung am Versorgungsgerät, Strom am Meßgerät DVM M818 ablesen!) wieder auf und registrieren Sie mit Hilfe eines X/t-Schreibers die Aufwärmkurve, also die Temperatur über der Zeit. Als Sonde für die Temperatur dient ein NiCr-Ni-Thermoelement, als Referenztemperatur Eiswasser. Diese Messung kann schon gestartet werden, bevor mit den Arbeiten zu Aufgabe 1 begonnen wird. Sie läuft ja, abgesehen von gelegentlichen Kontrollen der Heizleistung, automatisch ab. Für die Berücksichtigung der dem Aluminium-Zylinder trotz Isolierung von der Umgebung zugeführten Wärme wird eine zweite, gleichartige Messung benötigt, bei der die elektrische Heizung ausgeschaltet bleibt. Eine solche Messung würde am Versuchstag zu lange dauern. Sie erhalten deshalb leihweise eine entsprechende X/t-Schreiber-Aufwärmkurve für Ihre Auswertung.

Zubehör:

Dewar-Kalorimeter (250cm³), Plexiglasdeckel mit Einfüllöffnung, Trichter Thermometerdurchführungen; **diverse Messing-, Aluminium- und Kupferzylinder**, Aluminium-, Blei-, Zinn- und Kupfergranulat;

Quecksilberthermometer (-3 bis +50°C mit 0,2°C-Teilung),

Quecksilberthermometer (-10 bis +150°C mit 1°C-Teilung oder besser);

Halbleiterthermometer mit Digitalanzeige (0,1°C-Schritte);

Heißwasserbereiter, elektrisch beheizt, max. 300cm³,

Präzisionsschnellwaage;

diverse Meßzylinder, Erlenmeyerkolben, Bechergläser, Dewar-Gefäß für flüssige Luft, Dewar-Gefäß für Eiswasser;

Aluminium-Hohlzylinder (376g) mit eingebauter Heizwicklung (max.3A) und mit Bohrung für Thermoelement;

Ni-CrNi-Thermoelement (Befestigungsschraube nur **ganz zart anziehen!** Thermospannungen siehe unten.);

Styropor-Isolierbehälter;

Aufwärmkurve des Alu-Zylinders ohne Heizung, leihweise für die Auswertung . Die Daten sind auf der Praktikumshomepage verfügbar;

Millivoltmeter (Knick);

Vielfachmeßgerät (DVM M818);

Gleichstromversorgungsgerät (max. 16V, 5A);

Computer mit Picoscope als Datenlogger;

Schutzbrillen, Pinzette.

Thermospannungen des NiCr-Ni-Thermoelements in Millivolt:

°C	0	2	4	6	8	10
-190	-5,60	-5,63	-5,67	-5,70	-5,73	-5,75
-180	-5,43	-5,46	-5,50	-5,53	-5,57	-5,60
-170	-5,24	-5,28	-5,32	-5,35	-5,39	-5,43
-160	-5,03	-5,08	-5,12	-5,16	-5,20	-5,24
-150	-4,81	-4,86	-4,90	-4,95	-4,99	-5,03
-140	-4,58	-4,62	-4,67	-4,72	-4,77	-4,81
-130	-4,32	-4,37	-4,42	-4,48	-4,52	-4,58
-120	-4,06	-4,11	-4,16	-4,22	-4,27	-4,32
-110	-3,78	-3,84	-3,89	-3,95	-4,00	-4,06
-100	-3,49	-3,55	-3,61	-3,66	-3,72	-3,78
-90	-3,19	-3,25	-3,31	-3,37	-3,43	-3,49
-80	-2,87	-2,93	-3,00	-3,06	-3,12	-3,19
-70	-2,54	-2,61	-2,67	-2,74	-2,80	-2,87
-60	-2,20	-2,27	-2,34	-2,41	-2,47	-2,54
-50	-1,86	-1,93	-2,00	-2,07	-2,13	-2,20
-40	-1,50	-1,57	-1,64	-1,72	-1,79	-1,86
-30	-1,14	-1,21	-1,28	-1,36	-1,43	-1,50
-20	-0,77	-0,84	-0,92	-0,99	-1,06	-1,14
-10	-0,39	-0,46	-0,54	-0,62	-0,69	-0,77
0	0,00	-0,08	-0,16	-0,23	-0,31	-0,39
0	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40
10	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80
20	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20
30	1,20	1,28	1,36	1,44	1,53	1,61
40	1,61	1,69	1,77	1,85	1,94	2,02

Literatur:

Walcher: *Praktikum der Physik*

Hellwege: *Einführung in die Festkörperphysik*

Dekker: *Solid State Physics*

Kittel: *Elementary solid state physics*, a short course

Gerthsen, Kneser, Vogel: *Physik*

Einstein: *Annalen der Physik*, Band 39 (1907)

Physikalisches Anfängerpraktikum - P2

**Spezifische Wärmekapazität
P2-33**

Versuchsvorbereitung von
Tobias Renz und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 28. Juni 2012

Einführung

Im Versuch geht es zunächst um die Messung der spezifische Wärmekapazität eines Metalls, welches etwa Zimmertemperatur besitzt. Zum anderen soll durch geschickte Messverfahren welche den Messfehler minimieren sollen, die Temperaturabhängigkeit der spezifische Wärmekapazität bestimmt werden.

Die **spezifische Wärmekapazität** beschreibt die auf die Masse bezogene Wärmekapazität. Die Wärmekapazität gibt eine Aussage über die Energiemenge (Wärmemenge dQ) die benötigt wird um 1kg eines Stoffes um 1K zu erwärmen. Man definiert nun die Wärmekapazität C einer Substanz als:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (1)$$

Die spezifische Wärmekapazität c entspricht gerade der Wärmekapazität C bezogen auf die Masse des Stoffes m . Also:

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

Die Enthalpie (innere Wärme) lässt sich wie folgt darstellen. Ist diese, wie in unserem Fall unabhängig von Druck- und Volumenänderungen; wir haben Festkörper und Flüssigkeiten, so ist:

$$dH = dU + d(pV) = dU \quad (3)$$

Die Änderung der innere Energie dU entspricht gerade der Änderung der der Wärmemenge des Stoffs:

$$dU = dQ = m \int_{T_1}^{T_2} c(T) dT \quad (4)$$

1 Bestimmung der spezifische Wärmekapazität

Es soll die spezifische Wärmekapazität von Aluminium und die eines weiteren Metalls so genau, wie es mit den uns zu Verfügung stehenden Geräten möglich ist, bestimmt werden.

Wir erwärmen dazu das Metall auf eine höhere Temperatur T_M , als die Zimmertemperatur (Ausgangstemperatur). Anschließend bringen wir das Metall mit der Wärmekapazität c_M in das Wasserbad mit der Wärmekapazität c_{H_2O} und Temperatur T_{H_2O} . Bei diesem Vorgang gibt der wärmere Körper die Energie an den kälteren ab (vgl. nullten thermodynamischen Hauptsatzes), bis beide Temperaturen gleich sind. Nach dem ersten Hauptsatz gilt, dass die Energie in unserem abgeschlossenen System konstant bleibt. Nehmen wir an, dass die Wärmekapazität in einem kleinen Temperaturintervall unabhängig von dieser ist, so folgt:

$$dU = dQ = 0 \quad \text{mit} \quad dQ = \sum c_i m_i \Delta T_i \quad (5)$$

$$c_M m_M (T_M - T_E) = c_{H_2O} m_{H_2O} (T_E - T_{H_2O}) \quad (6)$$

Zu bemerken ist jedoch, dass unser System keinesfalls abgeschlossen ist. Da aber die spezifische Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zu Metallen recht hoch ist, wird sich die Temperatur des Wassers nur gering ändern. Der Einfluss der Umgebungsluft und schlechten thermischen Isolation der Gefäße muss also in Kauf genommen werden.

Stellen wir die obige Formel um so ergibt sich:

$$c_M = \frac{c_{H_2O} m_{H_2O} (T_E - T_{H_2O})}{m_M (T_M - T_E)} \quad (7)$$

Mit der spezifische Wärmekapazität von Wasser $c_{H_2O} = 4187 \frac{J}{kg \cdot K}$.

Die Durchführung des Versuchs ist relativ simpel. Weitaus wichtiger ist es sich Gedanken über die folgenden Punkte zu machen.

- **Metallform:** verwendet man ein kompaktes Metallstück so dauert der Wärmeausgleich im Vergleich zu kleinen Metallkügelchen mit weitaus größerer Oberflächenvolumen Verhältnis, lange. Außerdem wird es schwierig abzuschätzen, wann der Körper auch in seinem Inneren auf die Mischtemperatur abgekühlt ist. Eine längere Zeit im Wasserbad hat außerdem den Nachteil, dass der durch die Wechselwirkung mit der Umgebung stattfindende Austauschprozess einen größeren Fehler auf unsere Messung ausübt.
- **Flüssigkeit:** Hier steht zur Frage ob die Wahl von Wasser sinnvoll ist. Da die Wärmekapazität von Wasser nicht allzu deutlich von der Temperatur abhängt. Daher können wir diese in einem kleinen Temperaturintervall vernachlässigen. Betrachtet man das folgende Bild so erkennt man diesen Sachverhalt sehr gut. Stoffe mit einer deutlich größeren spezifische Wärmekapazität sind außerdem auch schlecht, da wir damit noch kleinere Temperaturdifferenzen erhalten. Da wir hier wohl große Messfehler haben, schadet es nicht, einen etwas größeren Wert bei gleichem Fehler zu haben.

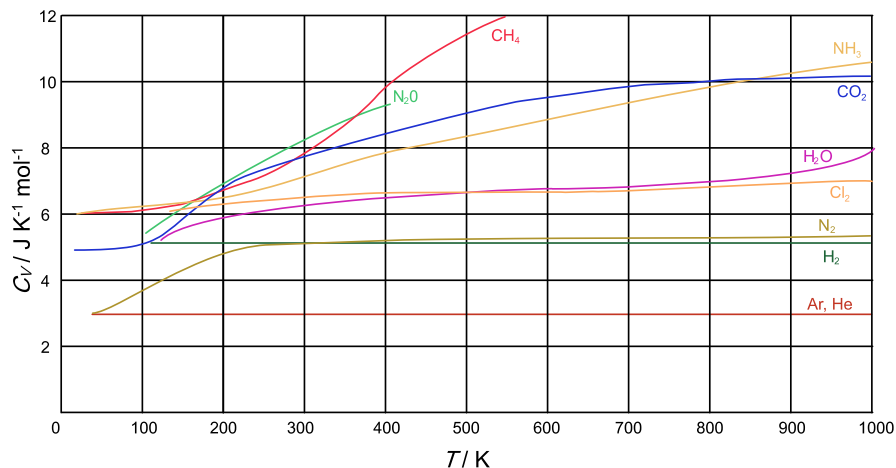


Abbildung 1: Temperaturabhängigkeit der spezifische Wärmekapazität

- **Massenwahl:** die Masse des verwendeten Wassers ist beschränkt auf das Fassungsvermögen des Kalorimeters. Um möglichst viel Platz zum Messen zu haben und damit die

Siedetemperatur nicht erreicht wird (siehe unten), empfiehlt es sich die Apparatur fast voll zu machen. Die Masse des Wassers wird dadurch bestimmt, dass vor und nach dem Befüllen der Kalorimeter gewogen wird und die Differenz entspricht der Masse m_{H_2O} . Bei mehrmaligem Befüllen ist dabei darauf zu achten, dass die Gefäßwand trocken ist.

Die Metalle dürften recht einfach mit einer Waage zu wiegen sein. Auch hier empfiehlt es sich diese vor jeder Messung trocknen zu wischen.

- **Temperatur:** Es empfiehlt sich das Wasser bei Zimmertemperatur zu verwenden und das Metall zu erhitzen. Einerseits muss das Wasser dann nicht speziell aufgewärmt werden, andererseits hat dies auch physikalische Gründe. Wie oben schon erwähnt steht das Kalorimeter in Kontakt mit der Umgebung. Dabei ist die Kontaktfläche die Oberfläche des Wassers. Diese ist zwar klein, jedoch haben wir hier eine zur Temperaturdifferenz proportionale Wärmeabgabe. Da Wasser eine höhere Wärmekapazität als Metall hat, wird unsere Endtemperatur in der Nähe des Wassers liegen. Das heißt $T_{H_2O} = T_{Zimmer}$ ist eine gute Startwahl.

Es ist zu beachten, dass die Temperatur des Metalls nicht über der Siedetemperatur des Wassers liegen sollte. Da das Wasser sonst beim eintauchen in die Gasphase übergeht und sich so die Masse verringert. Um jedoch den Maximalen Effekt der Erwärmung zu messen empfiehlt es sich eine Temperatur knapp unter der Siedetemperatur zu verwenden.

Außerdem ist wichtig, dass die Masse des Wassers so groß gewählt wird, dass sich unsere Wassertemperatur nicht in den Bereich des Phasenübergangs bewegt. Da sich hier durch latente Wärme die Temperatur des Wassers nicht ändert, es jedoch Wärme/Energie aufnimmt.

- **Thermometer:** Logischerweise sollte das Thermometer sehr genau sein. Da es eine weitere Masse mit einer spezifische Wärmekapazität in unserer Versuchsanordnung ist, wäre es von Vorteil die spezifische Wärmekapazität des Thermometers zu kennen. Jedoch kann es nicht schaden, es möglichst klein zu halten.
- **Kalorimeter:** Es ist zu beachten, dass auch das Kalorimeter eine Wärmekapazität C_K besitzt. Diese ist zu beachten. Dazu lässt sich die obige Formel leicht anpassen:

$$c_M = \frac{c_{H_2O}m_{H_2O} + C_K}{m_M} \cdot \frac{T_E - T_{H_2O}}{T_M - T_E} \quad (8)$$

- **Vorexperimente:** Es ist sinnvoll einige Vorexperimente durchzuführen, um eine geeignete Messmethode, Versuchsdurchführung und ein Gefühl für auftauchende Fehlerquellen zu bekommen. Dabei können einfache Experimente mit bekannten Sollergebnissen durchgeführt werden. Des Weiteren kann hier auch die spezifische Wärmekapazität von Thermometer, Kalorimeter und der Einfluss der Umgebung gemessen beziehungsweise grob abgeschätzt werden.

2 Temperaturabhängigkeit der spezifische Wärmekapazität von Aluminium

Der zweite Teil des Versuchs befasst sich mit der Temperaturabhängigkeit der spezifische Wärmekapazität von Aluminium zwischen 100K und 300K. Dazu wird der Aluminium-Hohlzylinder mit flüssigem Stickstoff auf 100K abgekühlt. Im Zylinder ist eine eingebaute Heizwicklung mit welcher der Zylinder bei einer Heizleistung von 20-30W aufgewärmt wird.

Die Temperatur wird nun mit einem NiCr-Ni-Thermoelement gemessen. Das Thermoelement beruht auf der Tatsache, dass zwischen zwei Metallen unterschiedlicher Temperatur eine Spannungsdifferenz herrscht. Dieser Effekt wird Seebeck-Effekt genannt. Der Aufbau eines solchen Thermoelement sieht wie folgt aus.

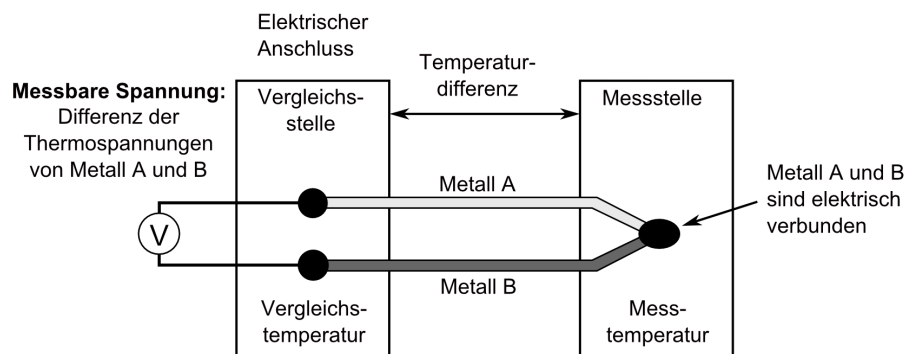


Abbildung 2: Thermoelement

Damit wir absolute Temperaturen messen können verwenden wir Eiswasser als Vergleichstemperatur. Die Spannungsdifferenz lässt sich dann mit der Tabelle auf dem Aufgabenblatt in eine Temperaturdifferenz umwandeln.

Zur Aufnahme der Messwerte benutzen wir einen X/t-Schreiber. Dieser nimmt die aktuelle Temperatur bei mehreren Zeiten auf. Dies erspart uns eine mühselige Messung. Da diese Messung sehr lange dauert, empfiehlt es sich, sie schon vor Aufgabe 1 zu starten.

Die angelegte Leistung P der Heizung ist konstant und es wird keine Arbeit verrichtet. Man erhält also folgende Beziehung:

$$dQ = dU = P\Delta t = c(T)m\Delta T \quad (9)$$

Stellen wir dies nach der temperaturabhängigen spezifischen Wärmekapazität so erhalten wir:

$$c(T) = \frac{P}{m} \frac{1}{\dot{T}} \quad (10)$$

Mit dem X/t-Schreiben nehmen wir eine T über t auf. Ihre Steigung entspricht dann gerade $\frac{dT}{dt} = \dot{T}$. Setzen wir dies in Gleichung 10 ein so erhalten wir $c(T)$.

Zu beachten ist nun noch, dass wieder zusätzliche Wärme aus der Umgebung in unser System (Metallzylinder) gelangt. Ohne Heizung ist diese:

$$P_a = c(T)m\dot{T}_a(T) \quad (11)$$

Diese Leistung müssen wir noch zur Heizleistung addieren. Damit erhalten wir für die Wärmekapazität:

$$c(T) = \frac{P + c(T)m\dot{T}_a(T)}{m\dot{T}(T)} \quad (12)$$

3 Quellen

- Abbildung 1 - http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/1/pc/pc_02/pc_02_02/media/film1.swf
- Abbildung 2 - <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Thermoschema.svg>

Physikalisches Anfängerpraktikum - P2

**Spezifische Wärmekapazität
P2-33**

Auswertung von
Tobias Renz und **Raphael Schmager**

Gruppe: **Do-28**

Durchgeführt am 28. Juni 2012

1 Bestimmung der spezifische Wärmekapazität

In dieser Aufgabe sollte die spezifische Wärmekapazität von verschiedenen Metallen bestimmt werden. Dazu hatten wir Aluminium, Messing und Kupfer als Metallstück und Aluminium- bzw. Kupfergranulat zur Verfügung.

Der Versuchsaufbau war dabei jedes mal gleich. In den Kalorimeter haben wir eine bestimmte Menge Wasser mit Masse m_W und einer Temperatur T_W gefüllt. Dann haben wir im Wasserbad das Metallstück bzw. Metallgranulat erhitzt und die Temperatur gemessen. Das Metall wurde vorher natürlich gewogen.

Nun haben wir das erhitzte Metall in den Kalorimeter dazugesetzt und mit dem Thermometer die Temperatur verfolgt. Die Temperatur T_E , die sich dann schließlich einstellte haben wir gemessen.

Bevor wir nun aber mit der Messung der spezifischen Wärmekapazitäten beginnen können, haben wir noch die Wärmekapazität des Kalorimeters und des beim Granulat verwendeten Siebs bestimmt.

1.1 Wärmekapazität des Kalorimeters:

Da der Kalorimeter auch einen Teil der Wärme aufnimmt muss dessen Wärmekapazität bekannt sein um bei späteren Messungen berücksichtigt werden zu können.

Um die Wärmekapazität C_K zu bestimmen haben wir eine bestimmte Menge Wasser mit Masse m_{WK} und Temperatur T_{WK} in den Kalorimeter gefüllt. Dann haben wir eine bestimmte Menge Wasser mit m_{WW} auf eine Temperatur T_{WW} erhitzt und auch in den Kalorimeter gefüllt und die Temperatur T_E die sich einstellt gemessen.

Beachtet man, dass die innere Energie des Systems sich nicht ändert, also auch $dQ = 0$ ergibt sich:

$$(c_{WK} \cdot m_{WK} + C_K)(T_E - T_{WK}) = c_{WW} \cdot m_{WW}(T_{WW} - T_E) \quad (1)$$

Daraus kann nun C_K bestimmt werden:

$$C_K = \frac{c_{H_2O} \cdot m_{WW}(T_{WW} - T_E)}{T_E - T_{WK}} - c_{H_2O} \cdot m_{WK} \quad (2)$$

Mit $c_{WW} = c_{WK} = c_{H_2O} = 4187 \frac{J}{kg \cdot K}$

Folgende Massen bzw. Temperaturen haben wir gemessen:

$$\begin{aligned} m_{WW} &= 111,61g & T_{WW} &= 70,0^\circ C \\ m_{WK} &= 143,95g & T_{WK} &= 28,2^\circ C \\ & & T_E &= 44,6^\circ C \end{aligned} \quad (3)$$

Mit diesen Messwerten ergibt sich C_K zu:

$$C_K = 121,04 \frac{J}{K} \quad (4)$$

Der Wert C_K für die Wärmekapazität kann nun bei folgenden Messungen berücksichtigt werden, man sieht, dass der Wert recht klein ist. Die Wärmekapazität C_K beinhaltet den Kalorimeter und den Thermometer, welcher während der Messung im Wasser war.

1.2 Wärmekapazität des Siebs:

Für die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität des Granulats benötigt man einen Sieb. Auf diesem Sieb wird das Granulat gelegt, welcher somit während der Messung auch im Wasser ist und Wärme abgibt. Es ist deshalb wichtig diese Wärmekapazität C_S zu kennen.

Um diese Kapazität zu messen haben wir wieder eine bekannte Menge Wasser mit Masse m_W und Temperatur T_W in den Kalorimeter gefüllt und den auf eine Temperatur T_S erhitzten Sieb dazugetan. Dann haben wir die Temperatur T_E gemessen die sich einstellt.

Analog zu oben ergibt sich:

$$C_S(T_S - T_E) = (c_W \cdot m_W + C_K)(T_E - T_W) \quad (5)$$

daraus kann nun C_S berechnet werden:

$$C_S = \frac{(c_W \cdot m_W + C_K)(T_E - T_W)}{T_S - T_E} \quad (6)$$

wobei $c_W = 4187 \frac{J}{kg \cdot K}$ und $C_K = 121,04 \frac{J}{K}$. Die Wärmekapazität des Kalorimeters kann in diesem Temperaturbereich als konstant angenommen werden, da die Messung und alle folgenden Messungen bei der fast gleichen Temperatur durchgeführt werden.

Folgende Werte haben wir dann noch gemessen:

$$\begin{aligned} m_W &= 225,725g & T_W &= 29,2^\circ C \\ & & T_S &= 80,0^\circ C \\ & & T_E &= 29,6^\circ C \end{aligned} \quad (7)$$

Damit ergibt sich die Wärmekapazität des Siebs zu:

$$C_S = 8,46 \frac{J}{K} \quad (8)$$

Nachdem nun die Wärmekapazität des Kalorimeters und des Siebs bekannt sind, kann nun mit den eigentlichen Messungen begonnen werden.

1.3 spezifische Wärmekapazität der Metallstücke

Zuerst haben wir die spezifische Wärmekapazität c_M der verschiedenen Metalle über die vorhandenen Metallstücke bestimmt. Die Versuchsdurchführung war bei den drei verwendeten Metallen gleich.

Wir haben den Kalorimeter mit einer bestimmten Menge Wasser mit Masse m_W und Temperatur T_W gefüllt. Das Metallstück mit Masse m_M im Wasserbad auf die Temperatur T_M gebracht

und in den Kalorimeter getan. Das Metallstück haben wir eine längere Zeit im konstant warmen Wasserbad gelassen, damit nicht nur die Oberfläche, sondern das ganze Metallstück die Wassertemperatur hat.

Betrachtet man wieder die aufgenommene, bzw. abgegebene Wärme ergibt sich:

$$c_M \cdot m_M (T_M - T_E) = (c_W \cdot m_W + C_K) (T_E - T_W) \quad (9)$$

wobei T_E wieder die Temperatur des Systems nach dem Mischen ist.

Für c_M folgt dann:

$$c_M = \frac{(c_W \cdot m_W + C_K) (T_E - T_W)}{m_M (T_M - T_E)} \quad (10)$$

Damit kann nun für die drei Metalle die /spez bestimmt werden.

Zunächst einmal sind unsere Messwerte aufgeführt:

	Aluminium	Messing	Kupfer
m_M /g	50,75	159,66	171,07
T_M /°C	87,10	86,30	85,10
m_W /g	198,10	201,01	199,50
T_W /°C	28,00	28,00	28,00
T_E /°C	30,90	31,80	31,70

Tabelle 1: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität von Wasser beträgt $c_W = 4178 \frac{J}{kg \cdot K}$ und C_K wurde in A1.1 zu $C_K = 121,04 \frac{J}{K}$ bestimmt.

Nun können die spezifischen Wärmekapazitäten von Aluminium (c_{Alu}), Messing (c_{Mess}) und Kupfer (c_{Kupf}) mit Gleichung 10 berechnet werden:

$$\begin{aligned} c_{Alu} &= 964,6 \frac{J}{kg \cdot K} \\ c_{Mess} &= 419,6 \frac{J}{kg \cdot K} \\ c_{Kupf} &= 386,62 \frac{J}{kg \cdot K} \end{aligned} \quad (11)$$

Bevor wir die Wert mit den Literaturwerten vergleichen bestimmen wir die spezifische Wärmekapazität zunächst noch mit dem Granulat.

1.4 spezifische Wärmekapazität des Granulats

Für Aluminium und Kupfer stand uns zusätzlich zu den Metalltücken noch Granulat zur Verfügung.

Die Versuchsdurchführung wurde ganz analog zu Aufgabe 1.3 durchgeführt, es musste hier nur noch zusätzlich das Sieb, auf welchem das Granulat liegt, beachtet werden. Außerdem haben wir weniger Wasser in den Kalorimeter gefüllt, dass die Temperaturänderung ,trotz der geringeren verwendeten Massen, noch gut messbar sind.

Es ergibt sich also folgende Gleichung:

$$(c_M \cdot m_M + C_S)(T_M - T_E) = (c_W \cdot m_W + C_K)(T_E - T_W) \quad (12)$$

damit kann nun C_M bestimmt werden:

$$c_M = \frac{(c_W \cdot m_W + C_K)(T_E - T_W)}{m_M \cdot (T_M - T_E)} - \frac{C_S}{m_M} \quad (13)$$

Die Messung haben wir mit Aluminium- und Kupfergranulat durchgeführt, für Messing stand uns leider kein Granulat zur Verfügung.

Im folgenden unsere Messwerte:

	Aluminium	Kupfer
m_M /g	15,71	39,85
T_M /°C	86,10	90,00
m_W /g	132,23	130,03
T_W /°C	28,10	28,00
T_E /°C	30,40	31,00

Tabelle 2: Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität

mit $C_W = 4178 \frac{J}{kg \cdot K}$, $C_K = 121,04 \frac{J}{K}$ und $C_S = 8,46 \frac{J}{K}$ können nun die spezifische Wärmekapazität von Aluminium (c_{Alu}) und die spezifische Wärmekapazität von Messing (c_{Kupf}) bestimmt werden:

$$\begin{aligned} c_{Alu} &= 1231,7 \frac{J}{kg \cdot K} \\ c_{Kupf} &= 594,76 \frac{J}{kg \cdot K} \end{aligned} \quad (14)$$

Nun wollen wir noch unsere Messwerte untereinander und mit den Literaturwerten vergleichen:

Wir haben erwartet, dass die Ergebnisse durch die Messung mit dem Granulat besser sind als die mit dem Metallstück. Unsere Messwert zeigen aber, dass die Messung mit dem Granulat deutlich schlechter sind.

Bei der Messung mit dem Metallstück, haben wir besonders darauf geachtet, dass das ganze Metallstück beim aufheizen die gleiche Temperatur angenommen hat. Wir haben es lange im

	Aluminium	Kupfer	Messing
Metallstück:	964,60	419,60	386,62
Granulat:	1231,70	594,76	-
Literatur:	896,00	382,00	384

Tabelle 3: spezifische Wärmekapazität in $\frac{J}{kg \cdot K}$

Wasserbad bei konstanter Temperatur gelassen. Auch im Kalorimeter haben wir das Metallstück eine längere Zeit gelassen, damit wir sicher gehen konnten, dass die ganze Wärme an das Wasser abgegeben wurde und das ganze Metallstück nun die gleiche Temperatur wie das Wasser hat. Aus diesen Gründen wollten wir erreichen, dass die Messung mit dem Metallstück so gut wie möglich wird. An den Werten sieht man, dass dies ganz gut gelungen ist.

Nun zum Problem bei der Messung mit dem Granulat. Zuerst muss man sagen, dass in diesem Versuch an einigen Stellen Fehler auftreten. Zum einen ist das Kalorimeter kein perfekt abgeschlossenes System und so wird auch Wärme an die Umgebung abgegeben. Zum anderen kühlt auch das Metall etwas ab, in der Zeit in der es aus dem Wasserbad geholt und in den Kalorimeter gebracht wird.

Bei den Messwerten mit dem Granulat sieht man aber, dass die spezifische Wärmekapazität deutlich höher ist als der Literaturwert und nicht niedriger. Einen niedrigeren Wert könnte man mit den oben beschriebenen Gründen erklären.

Der Fehler könnte bei der bestimmten Wärmekapazität für das Aluminium Sieb zustande gekommen sein. Dort war die Temperaturdifferenz zwischen der Anfangstemperatur des Wassers und der Endtemperatur sehr gering und somit ist bei dieser Messung der Fehler am größten. Wir hätten weniger Wasser benutzen sollen, um eine höhere Endtemperatur zu erreichen und somit die Messgenauigkeit und das Ergebnis zu verbessern.

Man sieht an Gleichung 13, dass eine höhere Wärmekapazität C_S die spezifische Wärmekapazität verringern würde. Wir nehmen deshalb an, dass das Sieb eigentlich eine höhere Wärmekapazität besitzt und wir diese nicht genau bestimmt haben.

2 Temperaturabhängigkeit der spezifische Wärmekapazität von Aluminium

Nun wird die spezifische Wärmekapazität von Aluminium im Bereich von 100K bis 300K bestimmt. Dazu wurde der Aluminium Zylinder in ein Bad aus flüssigem Stickstoff gelegt und auf eine Temperatur von -100K abgekühlt. Der Zylinder wurde nun in ein Styroporbehälter gelegt. Das Thermoelement wurde wie beschrieben angeschlossen. Ein Kabel steckte bereits im Zylinder, das andere wurde in ein Eiswürfelklotz gesteckt und hatte die zur Eichung notwendigen 0°C.

Gleichzeitig mit dem Start der Messung haben wir eine Spannung von $U=11,5V$ und einen Strom von $I=2,16A$ an die Heizwicklung des Zylinders angelegt. Dies entspricht einer konstan-

ten Heizleistung von $P=24,84\text{W}$.

Das "PicoScope" nahm alle 60 Sekunden einen Wert für die aktuelle Thermospannung auf. Zunächst haben wir die aufgenommene Spannung des Thermoelements in die jeweilige Temperatur mit der Tabelle auf dem Aufgabenblatt umgerechnet.

Zeit t/s	U_{mess} / mV	Temperatur / $^{\circ}\text{C}$	Zeit t/s	U_{mess} / mV	Temperatur / $^{\circ}\text{C}$
0	-5,303	-173	960	-1,776	-48
60	-5,172	-166	1020	-1,583	-42
120	-4,893	-154	1080	-1,396	-37
180	-4,614	-142	1140	-1,213	-32
240	-4,353	-131	1200	-1,03	-25
300	-4,11	-122	1260	-0,847	-23
360	-3,876	-113	1320	-0,664	-17
420	-3,644	-105	1380	-0,488	-13
480	-3,409	-97	1440	-0,317	-8
540	-3,188	-90	1500	-0,149	-4
600	-2,979	-83	1560	0,012	3
660	-2,772	-77	1620	0,171	4
720	-2,573	-70	1680	0,333	8
780	-2,375	-65	1740	0,488	12
840	-2,176	-59	1800	0,646	16
900	-1,974	-53	1860	0,805	20

Tabelle 4: Thermospannung und Temperatur (Messwerte)

Tragen wir nun die Temperatur über der Spannung auf so erhalten wir das folgende Schaubild. Mit Hilfe von Origin wurde durch diese Funktion ein Polynom gefittet. Man erhält folgende Beziehung:

$$T(t) = 1,406t^{0,662} + 91,51 \quad (15)$$

Umgestellt nach t ergibt dies:

$$t(T) = \left(\frac{T(t) - 91,51}{1,406} \right)^{1,51} \quad (16)$$

Dies setzen wir in die zeitliche Ableitung von $T(t)$ ein:

$$\dot{T}(T) = 0,931 \cdot \left(\frac{T - 91,51}{1,406} \right)^{-0,511} \quad (17)$$

Machen wir das gleiche noch für eine entsprechende Anzahl von Messpunkten aus den auf der Praktikumsseite angegebenen Tabelle (siehe Quellen). Hier wurde die selbe Messung vorab schon einmal durchgeführt. Jedoch war hierbei die Heizung nicht angeschaltet. Da es am

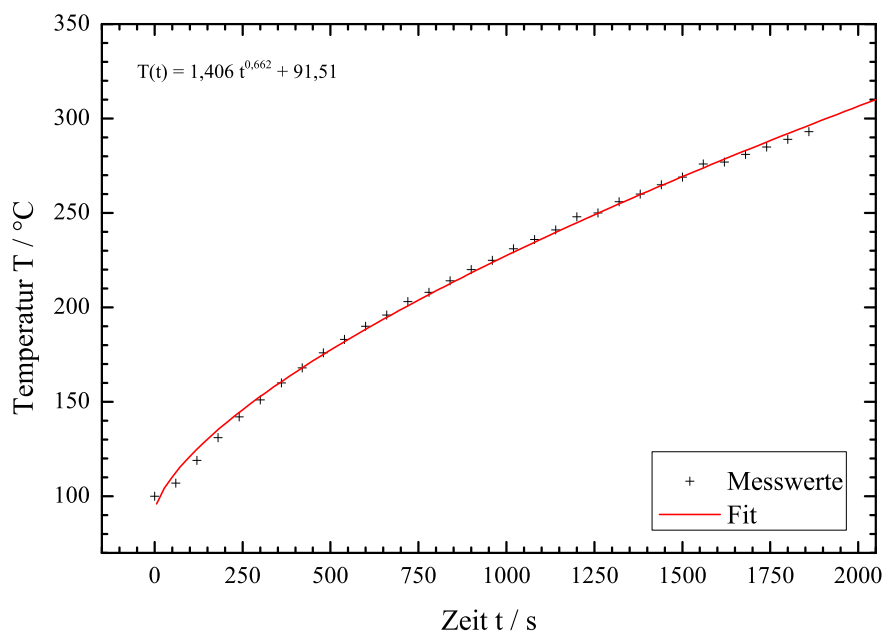


Abbildung 1: Temperatur über Zeit (Messwerte)

Versuchstag außergewöhnlich warm war, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob diese Korrektur sonderlich viel bringt.

Wir erhalten wieder eine Tabelle in der wir gleich die entsprechenden Temperaturen eingetragen haben.

Zeit t/s	U_{mess} / mV	Temperatur / $^{\circ}C$	Zeit t/s	U_{mess} / mV	Temperatur / $^{\circ}C$
140	-5,67	-194	3640	-2,2	-60
200	-5,6	-190	4140	-2	-54
260	-5,46	-182	4710	-1,79	-48
360	-5,28	-172	5640	-1,5	-40
440	-5,12	-164	6170	-1,28	-34
580	-4,81	-150	6720	-1,06	-28
850	-4,42	-134	8180	-0,84	-22
960	-4,32	-130	8610	-0,77	-20
1080	-4,16	-124	10010	-0,54	-14
1250	-3,95	-116	11180	-0,39	-10
1440	-3,72	-108	12930	-0,16	-4
1620	-3,49	-100	13510	-0,08	-2
1740	-3,31	-94	15770	0,16	4
2220	-2,93	-82	18030	0,23	8
2470	-2,47	-76	23580	0,56	14
3320	-2,34	-64	33120	0,8	20

Tabelle 5: Thermospannung und Temperatur (ohne Heizung)

Graphisch aufgetragen sieht dies wie folgt aus:

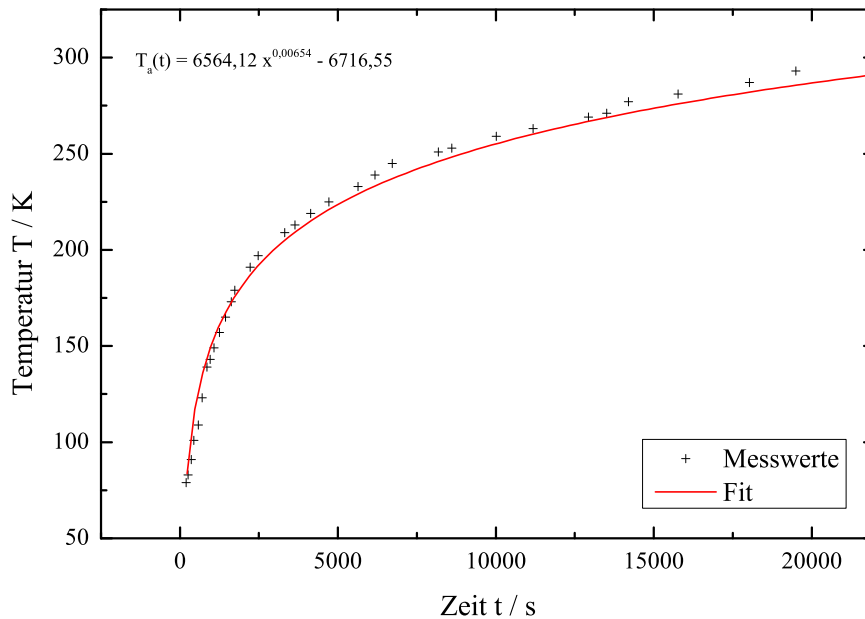


Abbildung 2: Temperatur über Zeit (Korrektur)

So nun haben wir erneut eine Funktion an die Messwerte gefittet. Diese ist:

$$T_a(t) = 6564,12t^{0,00654} - 6716,55 \quad (18)$$

Stellen wir diese nach t um so erhalten wir:

$$t(T_a) = \left(\frac{T(t) + 6716,55}{6564,12} \right)^{152,91} \quad (19)$$

Setzen wir dies wieder in die Ableitung von $T_a(t)$ nach der Zeit ein so ergibt sich:

$$\dot{T}_a(T) = 42,92 \cdot \left(\frac{T + 6716,55}{6564,12} \right)^{-151,905} \quad (20)$$

Nun können wir endlich die spezifische Wärmekapazität von Aluminium bestimmen. Dazu setzen wir die eben berechneten Ergebnisse in die Formel, welche in der Vorbereitung hergeleitet wurde, ein:

$$\frac{P}{m \cdot \left(0,931 \cdot \left(\frac{T-91,51}{1,406} \right)^{-0,511} + 42,92 \cdot \left(\frac{T+6716,55}{6564,12} \right)^{-151,905} \right)} \quad (21)$$

Mit $P=24,84\text{W}$ und der Masse des Aluminium-Hohlzylinders $m=0,376\text{kg}$, welche aus dem Aufgabenblatt entnommen wurde erhalten wir folgende Kurve.

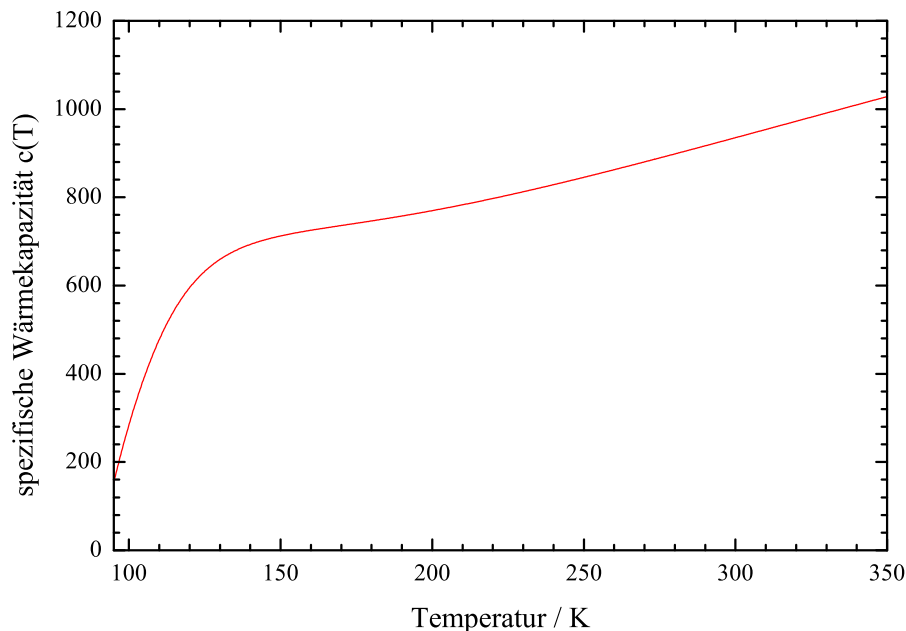


Abbildung 3: Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von Alu

Es ist wunderschön die erwartete Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium zu erkennen. Vergleicht man unsere eben bestimmte Kurve mit dem Literaturwert bei 25°C von $c_{Lit}(T) = 896 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ so erhalten wir an diesem Punkt: $c_{mess}(T) = 931 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Dies entspricht einer Abweichung von 3,75% für diese Temperatur.

Es ist außerdem zu erkennen, dass die spezifische Wärmekapazität im Bereich tiefer Temperaturen sehr steil ansteigt, im Bereich von -100°C bis 20°C einigermaßen flach/konstant verläuft.

3 Quellen

- Tabelle Messwerte ohne Heizung: <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/Waermekapazitaet-Tabelle.htm>
- Literaturwerte für Aufgabe 1: http://de.wikipedia.org/wiki/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t