

Prak.: P2 Semester: SS20 Wochentag: B Gruppennr.: 12

Name: Hohenstein Vorname: Michael

Name: Michel Vorname: Alexis

Emailadresse(n): alexis.michel@gmx.de, michael.hohenstein@gmx.de

Versuch: Spezifische Wärmekapazität (P2-33, 34) Fehlerrech.: Nein

Betreuer: Redjep Hajder Durchgeführt am: 19.8.2020

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: _____

Rückgabe am: _____ Begründung:

2. Abgabe am: _____

Ergebnis: + / 0 / - Fehlerrechnung: Ja / Nein

Datum: _____ Handzeichen: _____

Bemerkungen:

Inhaltsverzeichnis

1 Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium und einem weiteren Material	1
1.1 spezifische Wärmekapazität	1
1.2 Wärmekapazität des Kalorimeters	2
1.3 Spezifische Wärmekapazität von Aluminium	2
1.4 Spezifische Wärmekapazität eines weiteren Materials	3
1.5 Ausblick	4
2 Messen der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium in Abhängigkeit von der Temperatur	5
Literaturverzeichnis	11

Abbildungsverzeichnis

1.1 Skizze: Bestimmung der Wärmekapazität	2
2.1 Skizze: Versuchsaufbau Temperaturabhängige Messung der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium	5
2.2 Bekannte Werte für das Thermoelement mit Polynom vom Grad 10 als Fitfunktion	6
2.3 Temperatur in Abhängigkeit der Zeit ohne Heizung, mit Fitfunktion	7
2.4 Temperaturänderung in Abhängigkeit der Temperatur ohne Heizung	8
2.5 Temperatur in Abhängigkeit der Zeit mit Heizung, mit Fitfunktion	9
2.6 Temperaturänderung in Abhängigkeit der Temperatur mit Heizung	9
2.7 Wärmekapazität c in Abhängigkeit der Temperatur T	10

Tabellenverzeichnis

1.1 Messwerte Wärmekapazität Kalorimeters	2
---	---

1.2	Messwerte Wärmekapazität Aluminium	3
1.3	Messwerte Wärmekapazität Nordisches Gold	3
2.1	Parameter der Umrechnungsfunktion für Aufgabe 2	6

1. Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium und einem weiteren Material

1.1 spezifische Wärmekapazität

Die Wärmekapazität ist eine thermodynamische Materialeigenschaft, die angibt, welche Wärmemenge dQ einem bestimmten Material zugeführt werden muss, um eine Temperaturänderung dT zu erzielen. Die Spezifische Wärmekapazität ist beschreibt dies zusätzlich in Abhängigkeit der Masse des verwendeten Materials.

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial Q}{\partial T} \quad (1.1)$$

$$c(T) = \frac{1}{m} \cdot \frac{\partial Q}{\partial T} \quad (1.2)$$

Im folgenden Versuchsabschnitt wird versucht, die Wärmekapazität zu bestimmen, indem Materialien unterschiedlicher Temperaturen vermischt werden. Dabei handelt es sich bei einem der Materialien um Wasser, dessen Wärmekapazität von $c_{H_2O} = 4,184 \frac{J}{g \cdot K}$ (siehe [Che20]) bekannt ist und bei steigenden Temperaturen weitestgehend konstant bleibt. Nach dem Vermischen der beiden Materialien wird die Mischtemperatur bestimmt. Da das Vermischen in einem isolierten Gefäß, einem Kalorimeter durchgeführt wird, wird angenommen, dass keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht wird. Zur Bestimmung der Wärmekapazität wird angenommen, dass die Wärmeänderung der Probe mit unbekannter Wärmekapazität (ΔQ_P) der Wärmeänderung der des Materials mit bekannter spezifischer Wärmekapazität, im allgemeinen Wasser (ΔQ_{H_2O}) entspricht:

$$\Delta Q_P = \Delta Q_{H_2O} \quad (1.3)$$

$$c_P \cdot m_P \cdot (T_P - T_M) = c_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot (T_M - T_{H_2O}) \quad (1.4)$$

$$c_P = \frac{c_{H_2O} \cdot m_{H_2O}}{m_P} \cdot \frac{T_M - T_{H_2O}}{T_P - T_M} \quad (1.5)$$

Dabei handelt es sich bei T_M um die Mischtemperatur. Für diesen Versuch standen Probematerialien in Form von Metallstücken oder als Granulat zur Verfügung, wovon das Granulat verwendet wurde, da dieses eine größere Oberfläche hat und somit der Wärmeaustausch schneller vollzogen ist. Weiterhin kann bei Granulat die Annahme getroffen werden, dass die Bruchstücke nach einer kurzen Aufwärm-Phase innen und außen dieselbe Temperatur haben. Bei den Versuchen wurde die Probe in Form von Granulat erhitzt, während das Wasser bei Raumtemperatur gehalten wurde. Abbildung 1.1 skizziert den Versuch.

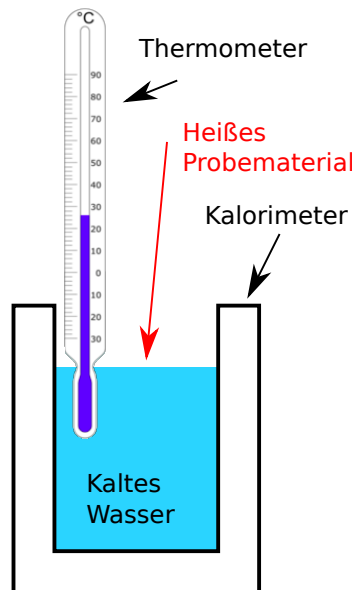


Abbildung 1.1: Skizze: Bestimmung der Wärmekapazität

1.2 Wärmekapazität des Kalorimeters

Bevor die Mischversuche im Kalorimeter durchgeführt werden können, muss die Wärmekapazität des Kalorimeters bestimmt werden. Das Kalorimeter wird bei allen weiteren Mischversuchen verwendet. In diesem Versuchsabschnitt wurde das Kalorimeter mit einer gewogenen Menge an Wasser gefüllt, dessen Temperatur sich annähernd bei Raumtemperatur befand. Weiterhin wurde in einem zweiten Gefäß eine ebenfalls vorher gewogene Menge an Wasser erhitzt. Vor und nach dem Mischen der beiden Flüssigkeiten wurden die Temperaturen gemessen. Die Messwerte sind Tabelle 1.1 zu entnehmen. Dabei ist das warme Wasser mit dem Index „H“ (heiß) und das kalte Wasser mit dem Index „K“ markiert. Weiterhin wurden die Werte in die Gleichung

$$c_T = c_{H_2O} \cdot \left(m_H \cdot \frac{T_M - T_H}{T_K - T_M} - m_K \right) \quad (1.6)$$

eingesetzt um die Wärmekapazität c_T des Kalorimeters zu bestimmen.

Tabelle 1.1: Messwerte Wärmekapazität Kalorimeters

m_H in g	T_H in °C	m_K in g	T_K in °C	T_M in °C	c_T in $\frac{J}{K}$
112,2	82,5	103,8	26,9	51,6	151,8
110,8	79,8	104,3	27,6	50,6	155,0
91,2	75,8	119,2	27,5	46,0	119,8

Der Mittelwert der Wärmekapazität des Kalorimeters beträgt somit

$$c_T = 142,2 \frac{J}{K} . \quad (1.7)$$

1.3 Spezifische Wärmekapazität von Aluminium

Das Ziel dieses Versuchsabschnittes ist es, die spezifische Wärmekapazität von Aluminium zu bestimmen. Dazu wird eine bekannte Masse von Aluminium-Granulat in einem Wasserbad

erhitzt und mit einer bekannten Masse Wasser im Kalorimeter vermischt. Vor und nach dem Vermischen wurden erneut die Temperaturen gemessen. Die Messwerte befinden sich in Tabelle 1.2 weiterhin wurden die Messwerte schon in die Gleichung 1.5 eingesetzt, um die spezifische Wärmekapazität c_{Al} von Aluminium zu bestimmen.

Tabelle 1.2: Messwerte Wärmekapazität Aluminium

m_H in g	T_H in °C	m_K in g	T_K in °C	T_M in °C	c_{Al} in $\frac{J}{g \cdot K}$
20,0	82,5	100,0	27,3	29,8	0,983
20,0	84,0	81,0	27,2	30,3	1,003
20,0	87,5	55,0	27,3	32,0	0,979

Der Mittelwert für die spezifische Wärmekapazität von Aluminium beträgt somit

$$c_{Al} = 0,988 \frac{J}{g \cdot K} . \quad (1.8)$$

Ein Vergleich mit dem Literaturwert von $c_{Al} = 0,896 \frac{J}{g \cdot K}$, welcher in [Che20] gefunden werden kann, offenbart eine Abweichung von 10,3 %.

1.4 Spezifische Wärmekapazität eines weiteren Materials

In diesem Versuchsabschnitt wurde das Verfahren des vorherigen Versuchsabschnittes wiederholt. Dabei wurde anstatt Aluminium ein anderes Probematerial verwendet: Nordisches Gold. Nordisches Gold ist eine Legierung aus 89 % Kupfer, 5 % Aluminium, 5 % Zink und 1 % Blei, aus der die 10 ct, 20 ct und 50 ct Münzen hergestellt werden. In diesem Versuch wurden von allen drei Münzen jeweils 2 Exemplare verwendet. Die Messwerte befinden sich in Tabelle 1.3 weiterhin wurden die Messwerte schon in die Gleichung 1.5 eingesetzt, um die spezifische Wärmekapazität c_{NG} von Nordischem Gold zu bestimmen.

Tabelle 1.3: Messwerte Wärmekapazität Nordisches Gold

m_H in g	T_H in °C	m_K in g	T_K in °C	T_M in °C	c_{Al} in $\frac{J}{g \cdot K}$
35,3	84,6	109,2	27,2	28,7	0,168
35,3	88,6	54,7	27,2	30,0	0,311
35,3	90,3	68,0	27,4	29,8	0,263

Der Mittelwert für die spezifische Wärmekapazität von Nordischem Gold beträgt somit

$$c_{NG} = 0,247 \frac{J}{g \cdot K} . \quad (1.9)$$

Da auch nach langwieriger Recherche im Internet leider keine Referenzmessung für die spezifische Wärmekapazität von nordischem Gold gefunden wurde, kann das Endergebnis leider nicht mit anderen Ergebnissen verglichen werden.

1.5 Ausblick

Bei den Versuchen zur Bestimmung von Wärmekapazitäten mit Mischverfahren sind mehrere mögliche Fehlerquellen zu beobachten. Die Temperatur des Thermometers ist Schwankungen unterworfen, welche sich durch eine inhomogene Erwärmung des Wassers erklären lassen. Weiterhin wurde gezeigt, dass das Kalorimeter mit seiner eigenen Wärmekapazität eine Fehlerquelle darstellt. Ein Infrarotthermometer, welches keinen Kontakt zum Wasser haben würde, würde dieses Problem lösen. Weiterhin ist die Bestimmung der Mischtemperatur nicht immer eindeutig, auch hier Schwankungen des Thermometers zu beobachten sind. Dies kommt dadurch zustande, dass das Kalorimeter langsam Wärme mit der Umgebung austauscht. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass in der Außenhülle des Kalorimeters ein großes Loch die Vakuum-Isolierung zunichte gemacht hat. Da das Aluminium und die Geldmünzen auf der Heizplatte im Wasserbad erhitzt wurden, wurde nur angenommen, dass die Materialien die Temperatur des Wassers angenommen haben. Dies mag zwar auf der Oberfläche der Proben stimmen, lässt sich für das Innere aber nicht nachweisen. Bei den kleinen Granulat-Stücken ist die dadurch entstandene Abweichung vorraussichtlich geringer als bei den größeren Geldmünzen. In der kurzen Zeit, in der die Materialproben zwischen den Gefäßen gewandert sind, befanden sie sich an der Luft, wodurch es zu einer leichten Abkühlung kommen kann. Weiterhin wurde nicht berücksichtigt, dass nach dem Herausnehmen der erwärmten Proben aus dem Wasserbad noch Wasser daran hängen geblieben ist, welches in den Berechnungen nicht mitberücksichtigt wurde. Die Bestimmung der vorher abgewogenen Wassermengen wiederum verlief außerordentlich präzise, da dafür eine Feinwaage verwendet wurde.

2. Messen der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium in Abhängigkeit von der Temperatur

Bei diesem Versuch soll die Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität bei Aluminium untersucht werden. Dazu wird ein Aluminium-Hohlzylinder mit flüssigem Stickstoff auf -196 °C heruntergekühlt. Mit einer eingebauten Heizspule mit einer eingestellten Heizleistung von rund 20 W wird der Hohlzylinder bis auf rund 40 °C erhitzt. Der Aufbau ist in einem Edlestahl-Isolierbehälter thermisch von der Umgebung isoliert. Die Temperatur wird mit einem Ni-CrNi-Thermoelement gemessen, dessen anderes Ende mit Eiswasser auf 0 °C gehalten wird. Eine Skizze des Versuchsaufbaues ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

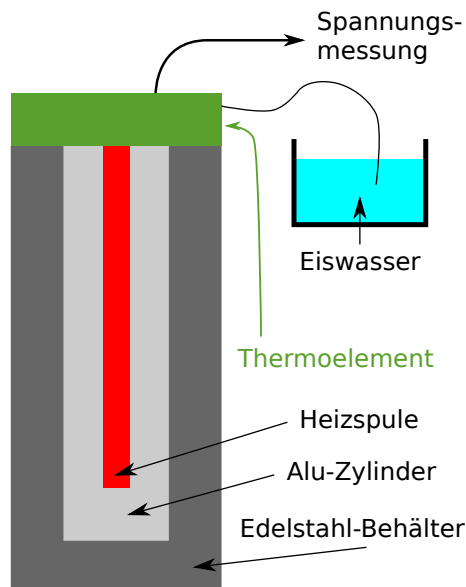


Abbildung 2.1: Skizze: Versuchsaufbau Temperaturabhängige Messung der spezifischen Wärmekapazität von Aluminium

Mit einem Picoscope am PC werden dann die Spannungen am Thermoelement ausgelesen. Für runde Celsius Temperaturen gibt es auf der Versuchsbeschreibung eine Umrechnungstabelle. Da diese allerdings nur gewisse Werte enthält, muss zunächst eine Umrechnungsfunktion bestimmt werden, mit der die gemessenen Spannungen alle in Temperaturen umgerechnet werden können. Das wird dadurch gemacht, dass ein Polynom mit Grad 10 an die bekannten Werte gefittet wird. Der ein Plot der bekannten Werte mit der Fitfunktion ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

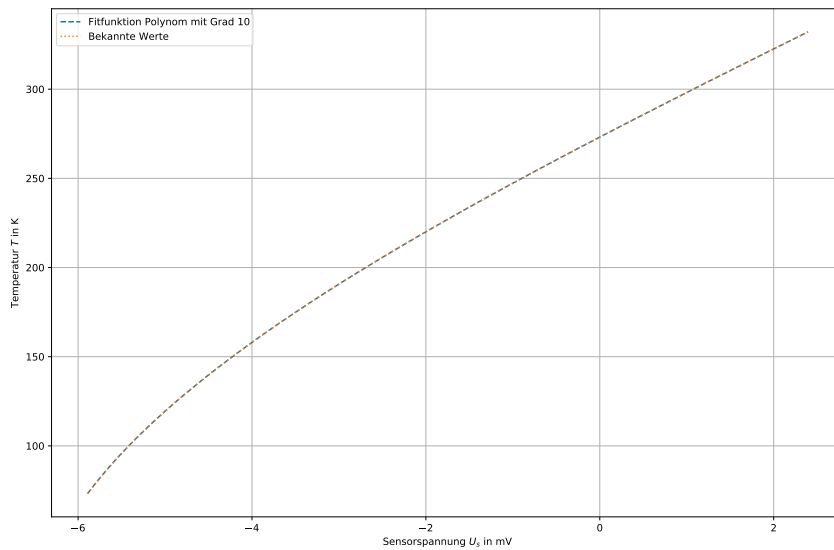


Abbildung 2.2: Bekannte Werte für das Thermoelement mit Polynom vom Grad 10 als Fitfunktion

Ein allgemeines Polynom vom Grad 10 hat die Form

$$f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6 + hx^7 + ix^8 + jx^9 + kx^{10}. \quad (2.1)$$

Hier wird für x die Sensorspannung U_S in mV verwendet. Das Ergebnis hat die Einheit Kelvin. Die Parameter a bis k aus dem Fit sind in Tabelle 2.1 zu sehen.

Tabelle 2.1: Parameter der Umrechnungsfunktion für Aufgabe 2

Parameter	Wert
a	$2,73 \cdot 10^2$
b	$2,53 \cdot 10^1$
c	$-4,15 \cdot 10^{-1}$
d	$7,46 \cdot 10^{-2}$
e	$-1,59 \cdot 10^{-2}$
f	$-2,05 \cdot 10^{-3}$
g	$1,69 \cdot 10^{-3}$
h	$4,91 \cdot 10^{-4}$
i	$-8,98 \cdot 10^{-5}$
j	$-3,86 \cdot 10^{-5}$
k	$-3,30 \cdot 10^{-6}$

Die aus dem Fit resultierende Umrechnungsfunktion wird im Folgenden zur weiteren Umrechnung der gemessenen Spannung zu Temperaturen verwendet.

Der Zusammenhang zwischen der gesuchten Wärmekapazität c und der gegebenen Leistung P ist

$$\Delta Q = P \cdot \Delta t = c(T) \cdot m \cdot \Delta T \quad \Longrightarrow \quad c(T) = \frac{P \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta T}. \quad (2.2)$$

Im Fall infinitesimal kleiner Änderungen folgt dann

$$c(T) = \frac{P \cdot dt}{m \cdot dT} = \frac{P}{m \cdot \dot{T}}. \quad (2.3)$$

Es soll auch noch beachtet werden, dass die Isolierung nicht perfekt ist. Deshalb kommt zur Heizleistung P_H noch die Außenleistung P_A dazu

$$P = P_H + P_A. \quad (2.4)$$

Beim Rechnen mit der Heizleistung P_H muss folglich von der gemessenen Temperaturänderung \dot{T} noch die durch die Umgebung verursachte Temperaturänderung \dot{T}_A abgezogen werden

$$c(T) = \frac{P_H}{m \cdot (\dot{T} - \dot{T}_A)}. \quad (2.5)$$

Um die durch die Umgebung verursachte Temperaturänderung \dot{T}_A zu bestimmen wurde eine 24-Stundenmessung mit dem Aufbau ohne aktive Heizspule gemacht. Diese Messung wurde nicht selbst durchgeführt sondern von der Praktikussseite heruntergeladen.

Für die Messung ohne Heizung wird ein Fit durchgeführt mit

$$T(t) = ae^{-bt} + c \quad \Longrightarrow \quad \dot{T} = -abe^{-bt} \quad (2.6)$$

$$\Longrightarrow t(T) = -\frac{1}{b} \ln \left(\frac{T - c}{a} \right) \quad \Longrightarrow \quad \dot{T}(T) = -b(T - c). \quad (2.7)$$

Die auf die Temperatur umgerechneten Messwerte mit der Fitfunktion sind in Abbildung 2.3 zu sehen.

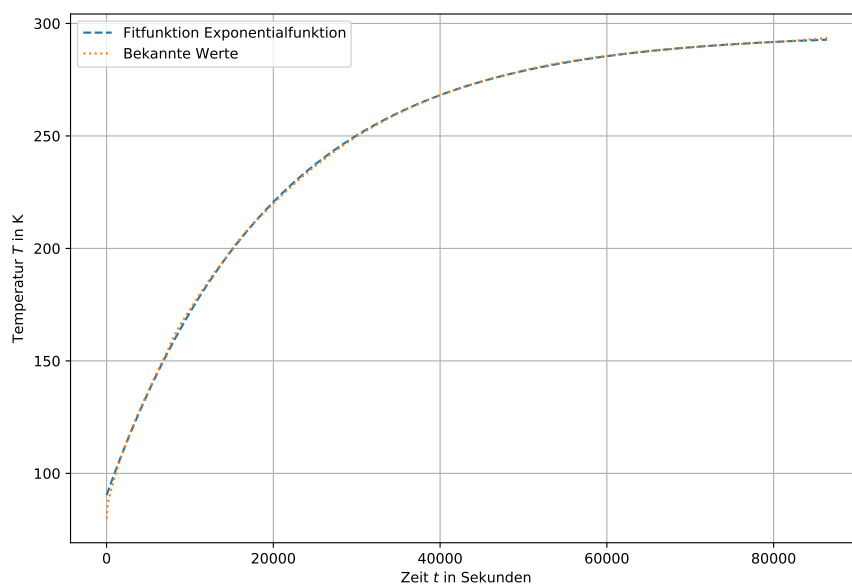


Abbildung 2.3: Temperatur in Abhängigkeit der Zeit ohne Heizung, mit Fitfunktion

Der Fit liefert zudem die Parameter $a = -205,0 \text{ Ks}^{-1}$, $b = 5,04 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ und $c = 295,4 \text{ Ks}^{-1}$. Mit Gleichung 2.6 und den Parametern lässt sich $\dot{T}(T)$ bestimmen. In Abbildung 2.4 ist das zu sehen.

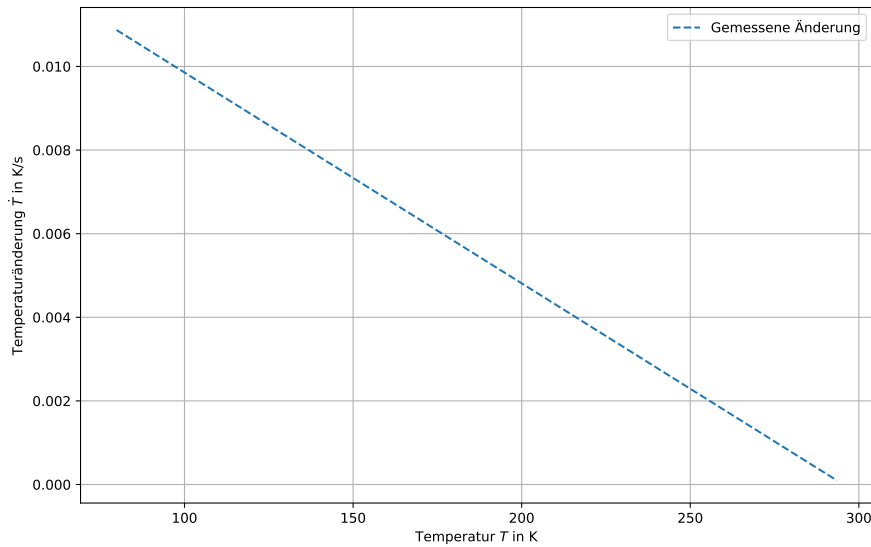


Abbildung 2.4: Temperaturänderung in Abhängigkeit der Temperatur ohne Heizung

Für die selbst gemessenen Werte mit aktiver Heizung wird auch ein Fit gemacht. Dieser hat die Form

$$T(t) = at^b + c \quad \Rightarrow \quad \dot{T}(t) = abt^{b-1} \quad (2.8)$$

$$t(T) = \left(\frac{T - c}{a} \right)^{\frac{1}{b}} \quad \Rightarrow \quad \dot{T}(T) = ab \left(\frac{T - c}{a} \right)^{1 - \frac{1}{b}}. \quad (2.9)$$

Die auf die Temperatur umgerechneten Messwerte und die Fitfunktion sind in Abbildung 2.5 zu sehen.

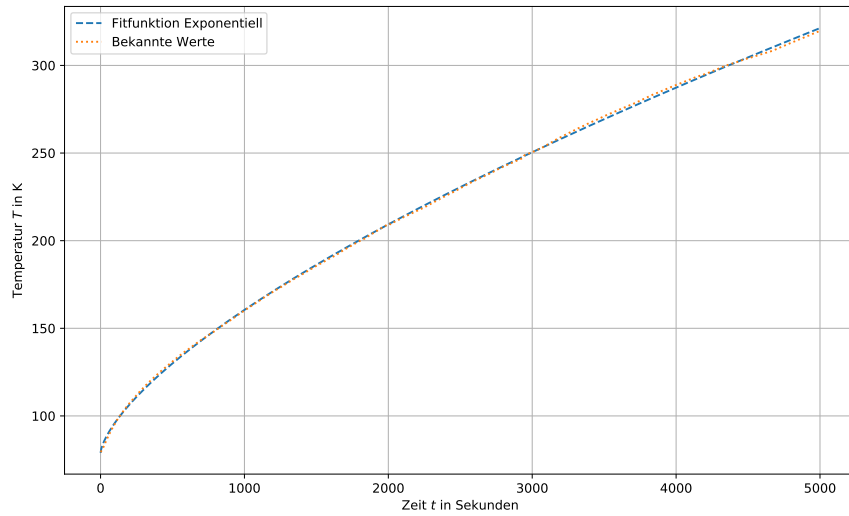


Abbildung 2.5: Temperatur in Abhängigkeit der Zeit mit Heizung, mit Fitfunktion

Auch dieser Fit liefert zudem die Parameter $a = 0,762 \text{ Ks}^{-b}$, $b = 0,677$ und $c = 78,94 \text{ K}$. Mit Gleichung 2.8 und den Parametern lässt sich $\dot{T}(T)$ bestimmen. In Abbildung 2.6 ist das zu sehen.

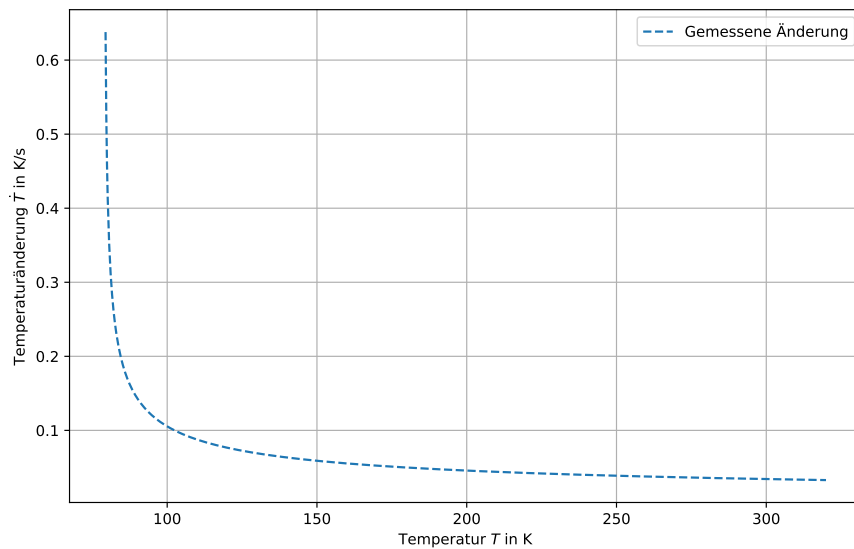


Abbildung 2.6: Temperaturänderung in Abhängigkeit der Temperatur mit Heizung

Durch die Fits ist für jedes T im Messbereich die Temperaturänderung \dot{T}_H und \dot{T}_A bekannt. Die Heizleistung P_H ist mit $P_H = U \cdot I = 9,3 \text{ V} \cdot 1,83 \text{ A} \approx 17 \text{ W}$ gegeben. Die Masse m des Aluminium-Hohlzylinders ist mit $m = 0,338 \text{ kg}$ auf der Versuchsbeschreibung geben. Mit Gleichung 2.5 lässt sich dann für alle T im Messbereich die Wärmekapazität c berechnen. In Abbildung 2.7 ist der Plot für den Messbereich zu sehen.

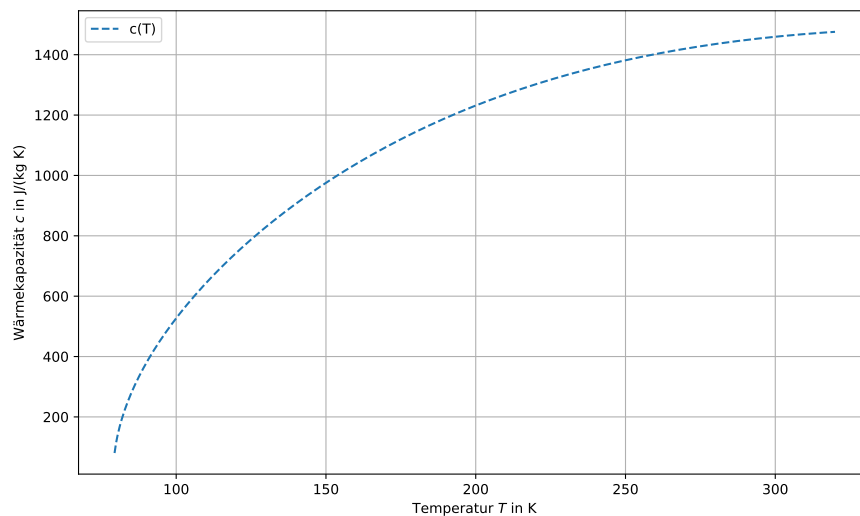


Abbildung 2.7: Wärmekapazität c in Abhängigkeit der Temperatur T

Es lässt sich klar erkennen, dass die Wärmekapazität für kleine Temperaturen deutlich geringer ist als für große Temperaturen. Bei größeren Temperaturen ist die Wärmekapazität relativ konstant. Das liegt daran, dass bei niedrigen Temperaturen die Freiheitsgrade der Schwingung teilweise eingefroren werden und ist das erwartete Verhalten.

Für 0°C ergibt sich ein Wert von $c_0 = 1475 \text{ J/kgK}$. Der Literaturwert von $c_0 = 896 \text{ J/kgK}$ nach [Che20] wurde somit um mehr als 64% verfehlt.

Der Grund für diesen großen Fehler ist die Wärmekapazität der Heizung, die nicht berücksichtigt wurde, da diese nicht bekannt ist. Die Heizung wärmt sich auch auf und speichert einen Teil der Wärme. Weil so gerechnet wird, dass das Aluminium die komplette Wärme aufnimmt, fällt der Wert der Wärmekapazität von Aluminium zu groß aus.

Literaturverzeichnis

- [Che20] Chemie.de: *Spezifische Wärmekapazität* — *Chemie.de, Das chemische Fachportal vom Labor bis zum Prozess*. https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html, 2020. [Online; accessed 23-August-2020].