

# Physikalisches Anfängerpraktikum

Universität Augsburg  
Wintersemester 2025/26

## Versuch: W1 Elektrisches Wärmeequivalent

Gruppe: G 04

Versuchsdatum: 03.12.2025

Abgabedatum: 14.12.2025

Gemeinsames Versuchsprotokoll

Ferdinand Frey

Tom Glaser

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>4</b>
<b>3 Versuchsbeschreibung</b>	<b>5</b>
3.1 Versuchsaufbau Teil 1 . . . . .	5
3.2 Versuchsaufbau Teil 2&3 . . . . .	5
3.3 Versuchsdurchführung Teil 1 . . . . .	6
3.4 Versuchsdurchführung Teil 2&3 . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1 Aufgabe 1, Zwickelabgleich . . . . .	7
4.2 Aufgabe 2, Wärmeleistung . . . . .	9
4.3 Aufgabe 3, Stationärer Zeitpunkt . . . . .	11
4.4 Teil 4, Wärmeleitungskonstanten . . . . .	13
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>15</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>16</b>
<b>7 Literaturverzeichnis</b>	<b>23</b>

## 1 Einleitung

Die Wärmeleitung ist ein grundlegendes Prinzip der Physik und sie kommt in allen möglichen Bereichen des Lebens vor, sowohl im täglichen Leben als auch in der Wissenschaft. Im täglichen Leben tritt sie bei so simplen Dingen wie heißem Tee oder auch beim Kochen auf, und in der Wissenschaft bei den Niedrigtemperatur-Mikroskopen der Experimentalphysik 5 und bei den Plasmaexperimenten der Plasmaphysik in unserem Institut. Wärme ist ein wirklich alltägliches Phänomen, das bei eigentlich allem anfällt, was irgendwo passiert. Je genauer die Leitfähigkeit eines Stoffes bekannt ist, desto besser kann also Technik, die sich mit dem Transport von Wärme beschäftigt, wie Kühlgeräte oder Klimaanlagen, weiterentwickelt werden. Der Versuch ist dem Gebiet der Wärmelehre zuzuordnen. Dementsprechend sind mögliche Messgrößen mit Thermometer und Stoppuhr feststellbar.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 3 Versuchsbeschreibung

#### 3.1 Versuchsaufbau Teil 1

Im ersten Teil wird zunächst ein Zwickelabgleich durchgeführt, um den Wasserwert des verwendeten Dewar-Gefäßes zu bestimmen. Um diesen Zwickelabgleich durchzuführen, werden ein Dewar-Gefäß, zwei Messbecher, wovon einer teilweise isoliert ist, zwei Thermometer sowie warmes und kaltes Wasser benötigt. Um den Vorgang zu erleichtern, braucht man zusätzlich noch einen Magnetrührer und einen magnetischen Rührfisch.

#### 3.2 Versuchsaufbau Teil 2&3

Der zweite Teil des Versuchs beschäftigt sich nun mit der Wärmeleitung. Für den Aufbau braucht man einen isolierten Kupferstab mit drei Löchern: eines an der Spitze und die anderen beiden jeweils an der oberen und unteren Kante der Isolierung, einen Lötkolben, zwei Thermometer, das Dewar-Gefäß mit dem Magnetrührer aus Teil 1 des Versuchs, eine höhenverstellbare Halterung, um den Kupferstab befestigen zu können, eine Stoppuhr und ein Thermometer. Als Erstes wird das leere Dewar-Gefäß mit dem Magnetrührer ausgerüstet, leer gewogen, befüllt und noch einmal gewogen, um das Leer- und Vollgewicht zu bestimmen. Als Nächstes wird der Kupferstab so über dem Dewar-Gefäß befestigt, dass er ungefähr zwei Zentimeter in das Wasser hineinragt. Danach wird der Lötkolben in dem Loch an der Spitze des Kupferstabes befestigt und die beiden Thermometer in den Löchern über und unter der Isolierung ebenfalls. Teil 3 des Versuchs hat einen analogen Aufbau; dort wird jedoch der Kupferstab durch einen Aluminiumstab ersetzt.

### 3.3 Versuchsdurchführung Teil 1

Nun zur Durchführung des Zwickelabgleichs. Hierfür werden 180 Gramm kaltes Wasser und 200 g warmes Wasser benötigt. Das kalte Wasser wird direkt in das Dewar-Gefäß gegeben und das warme Wasser in das teilweise isolierte Becherglas. Damit im zweiten Teil der Messung die Werte nicht verfälscht werden, wird nun der Magnetrührer in Position gebracht und schonmal angeschaltet. In beiden Behältern wird nun für 5 Minuten in 30-Sekunden-Abständen die Temperatur gemessen. Sobald die 5 Minuten vorbei sind, wird das warme Wasser langsam in das kalte Wasser geschüttet; dieser Vorgang sollte ungefähr 1 bis 2 Minuten dauern. Währenddessen misst der Laborpartner alle 5 Sekunden die Temperatur im Dewar-Gefäß. Sobald die beiden Wassermengen vermischt sind und der Temperaturverlauf wieder linear ist, wird der Temperaturmessrhythmus wieder von 5 Sekunden auf 30 Sekunden erhöht. Diese letzte Phase der Temperaturmessung dauert erneut 5 Minuten.

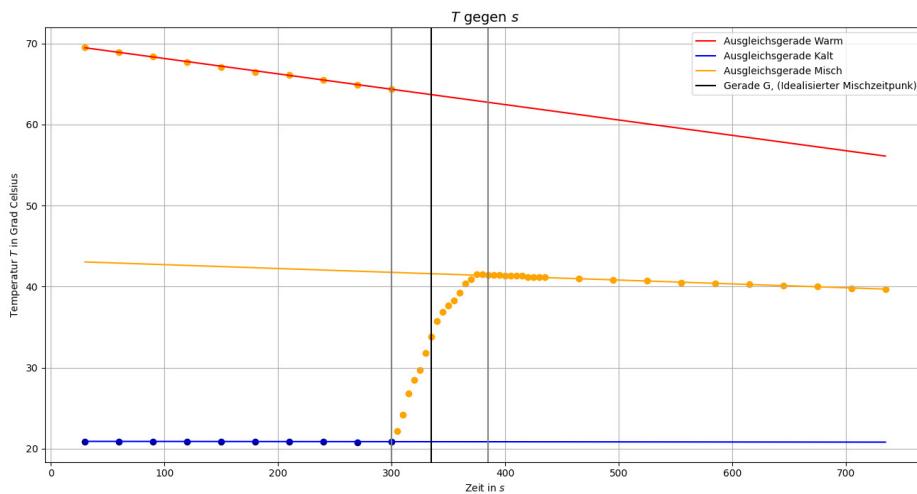
### 3.4 Versuchsdurchführung Teil 2&3

Sobald der Versuchsaufbau vollendet ist, kann mit der Durchführung begonnen werden. Hierzu werden der Magnetrührer und der Lötkolben angeschaltet und für 40 Minuten alle 60 Sekunden die Temperaturen beider Thermometer gemessen. Für Teil 3 wird nur der Kupferstab durch einen Aluminiumstab getauscht; die restliche Durchführung ist analog.

## 4 Auswertung

### 4.1 Aufgabe 1, Zwickelabgleich

Um den Wasserwert des Dewar-Gefäß zu ermitteln wird ein Zwickelabgleich durchgeführt.



**Abbildung 1:** Eine graphische Auswertung des Zwickelabgleich

Der Wasserwert  $\omega$  wird durch die Formel

$$\omega = \frac{m_W \cdot (T_W - T_m)}{T_m - T_K} - m_K \quad (1)$$

berechnet. **[Protokoll-W1]** Hierbei beschreibt  $m_W$  das Gewicht des warmen Wassers,  $T_W$  die Temperatur des warmen Wassers,  $T_m$  die idealisierte Misctemperatur des warmen und des kalten Wassers,  $T_K$  die Temperatur des kalten Wassers und  $m_K$  die Masse des kalten Wassers. Die jeweils gemessenen Temperaturen konnten auf eine Genauigkeit von  $\Delta T \pm 0,05^\circ\text{C}$  bestimmt werden. Dadurch können die weiterführenden Geraden der Temperatur als konstante Geraden verwendet werden. Das Gewicht des warmen Wassers konnte auf eine Genauigkeit von  $\pm 0,05\text{ g}$  bestimmt werden ( $m_W = 200,3 \pm 0,05\text{ g}$ ). Bei der Masse des kalten Wassers kam es zu einem Messfehler, da beim Schütteln vom Becherglas in das Dewar-Gefäß etwas Wasser daneben gegangen ist; deswegen konnte hier nur eine Genauigkeit von  $\Delta m_K = \pm 2\text{ g}$  erzielt werden ( $m_K = 185 \pm 5\text{ g}$ ). Für den Fehler von  $T_W$  und  $T_K$  muss beachtet werden, dass der Zeitpunkt  $t_0$  per Hand in das Diagramm eingefügt wurde und somit nicht den idealen Werten entspricht. Dadurch hat die Gerade  $t_0$  eine geschätzte Genauigkeit von  $\pm 2$  Sekunden, was bei einem geschätzten Wert von  $t_0 = 35$  Sekunden zu  $t_0 = 35 \pm 2$  Sekunden führt.

Grundsätzlich gilt für den Fehler des Wasserwerts

$$\Delta\omega = \pm \left( \left| \frac{\partial\omega}{\partial m_W} \right| \cdot \Delta m_W + \left| \frac{\partial\omega}{\partial m_K} \right| \cdot \Delta m_K + \left| \frac{\partial\omega}{\partial T_K} \right| \cdot \Delta T_K + \left| \frac{\partial\omega}{\partial T_W} \right| \cdot \Delta T_W + \left| \frac{\partial\omega}{\partial T_m} \right| \cdot \Delta T_m \right). \quad (2)$$

Differenzieren und vereinfachen ergibt schließlich:

$$\Delta\omega = \pm \left( \Delta m_K + \frac{\Delta m_W \cdot (T_W - T_m) + \Delta T_W \cdot m_W}{T_m - T_K} + m_W \cdot \frac{\Delta T_m \cdot (T_W - T_K) + \Delta T_K \cdot (T_W - T_m)}{(T_m - T_K)^2} \right) \quad (3)$$

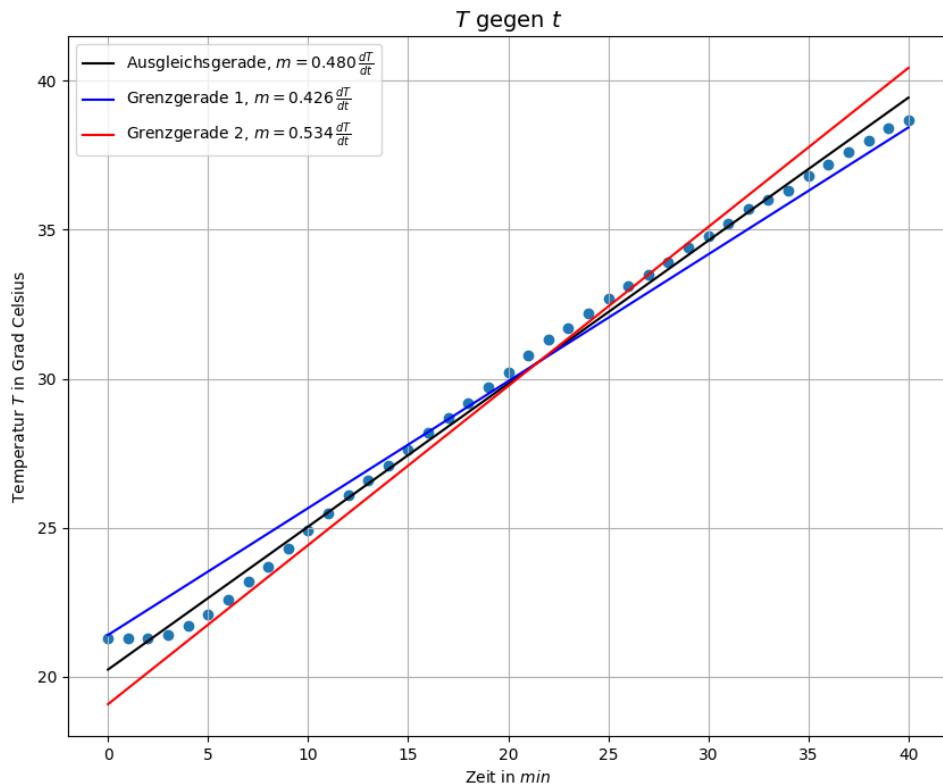
Daraus ergibt sich nun der Wasserwert des Dewar-Gefäßes aus Gleichung 1 und 3

$$\omega = 24,84 \pm 2,12 \text{ Gramm}$$

Mögliche Fehlerquellen sind leicht verschobene Messzeitpunkte, da die Zeitabstände ziemlich gering sind und somit leicht Fehler unterlaufen können. Ungenauigkeiten beim Legen der idealen Mischgeraden zum Zeitpunkt  $t_0$ . Ein eindeutiger Fehler ist die verlorengegangene Flüssigkeit ganz am Anfang des Versuches.

## 4.2 Aufgabe 2, Wärmeleistung

Trägt man die Temperatur  $T_u$  gegen die Zeit  $t$  auf so erhält man folgende Grafik:



**Abbildung 2:** Die Temperatur  $T_u$  aufgetragen gegen die Zeit. Mit Grenz- und Ausgleichsgeraden. Die ersten 3 Messpunkte wurden in die Steigung der Geraden miteinbezogen da die Temperatur  $T$  hier konstant ist

Für die Wärme  $Q$ , welche vom Dewar-Gefäß aufgenommen wird gilt:

$$Q = c_w \cdot (m_w + w) \cdot \Delta T \quad (4)$$

Differenziert nach der Zeit, ergibt sich für die Wärmeleistung  $P$ :

$$P = c_w \cdot (m_w + w) \cdot \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

Für den Fehler gilt:

$$\Delta P = \pm \left( \left| \frac{\partial P}{\partial m_w} \right| \Delta m_w + \left| \frac{\partial P}{\partial w} \right| \Delta w + \left| \frac{\partial P}{\partial \frac{dT}{dt}} \right| \Delta \frac{dT}{dt} \right) = \pm P \left( \frac{\Delta m_w + \Delta w}{m_w + w} + \frac{\Delta \frac{dT}{dt}}{\frac{dT}{dt}} \right) \quad (6)$$

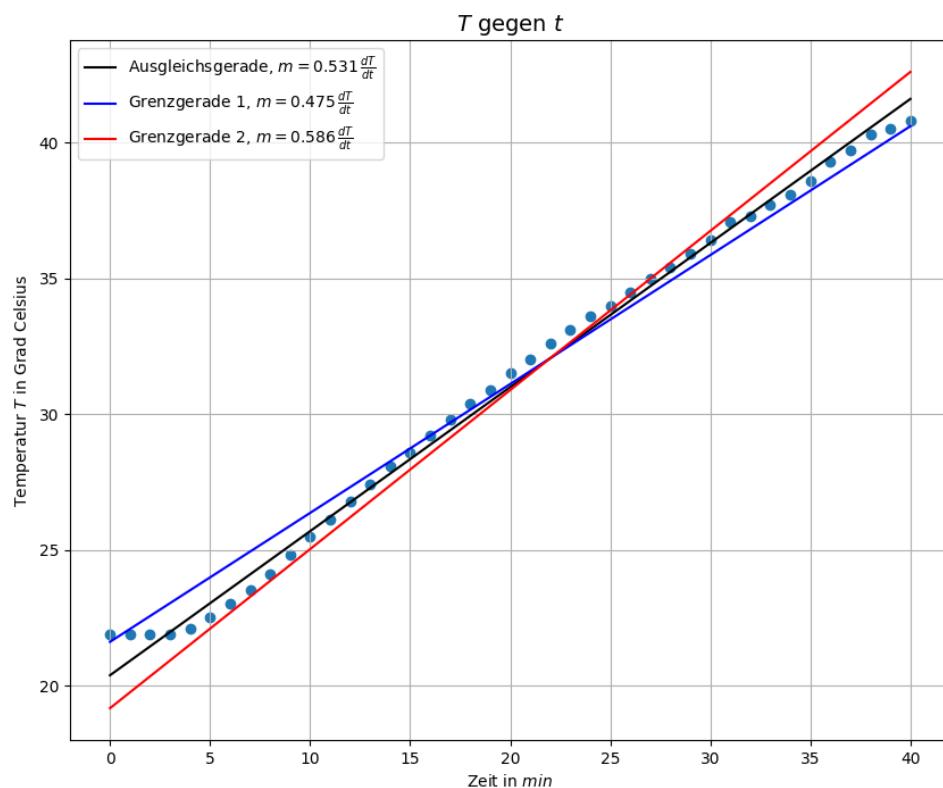
Dabei ist  $\Delta \frac{dT}{dt}$  gegeben durch die Differenz der Steigung der Grenzgeraden.

$$\Delta \frac{dT}{dt} = \pm \left| \frac{\left( \frac{dT}{dt} \right)_{\max} - \left( \frac{dT}{dt} \right)_{\min}}{2} \right|. \quad (7)$$

Die Menge an destilliertem Wasser war  $m_w = 409,5 \pm 0,1 \text{ g}$ . Für  $c_W$  wurde eine Wert von  $4,18 \frac{\text{J}}{\text{gK}}$  verwendet. Somit ergibt sich mit den Werten für die Steigungen aus 2 und dem in Teil 1 bestimmtem Wasserwert eine Wärmeleistung von:

$$P_{Cu} = 14,52 \pm 1,85 \text{ W} \quad (8)$$

Für den Aluminiumstab sieht die Grafik wie folgt aus:



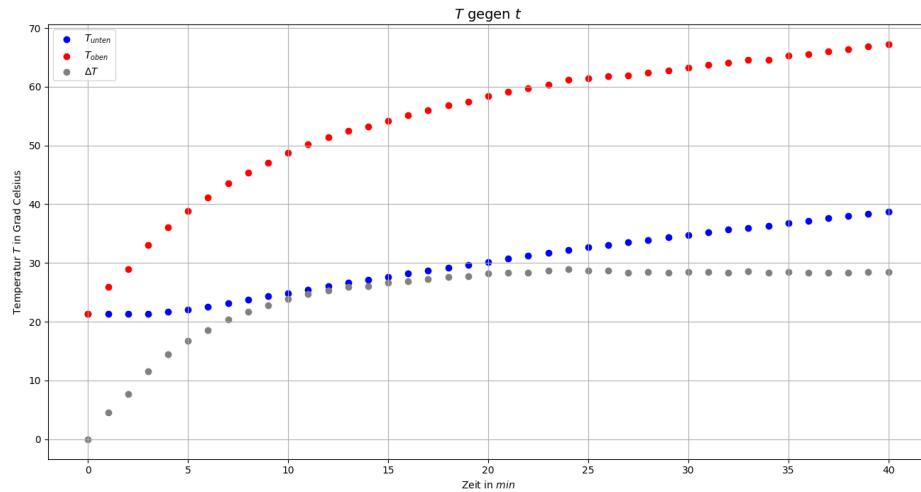
**Abbildung 3:** Die Temperatur  $T_u$  aufgetragen gegen die Zeit. Mit Grenz- und Ausgleichsgeraden. Die ersten 4 Messpunkte wurden in die Steigung der Geraden miteinbezogen da die Temperatur  $T$  hier konstant ist

Mit identischem Verfahren und identischem Wasserwert und einem Wassermasse von  $m_w = 432,4 \pm 0,1$  erhält man für die Leistung des Aluminiumstabs:

$$P_{al} = 16,91 \pm 1,23 \text{ W} \quad (9)$$

### 4.3 Aufgabe 3, Stationärer Zeitpunkt

Im Folgenden sind die Temperaturen des Kupferstabs oben sowie unten gegen die Zeit aufgetragen. Zudem ist die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  aufgetragen.

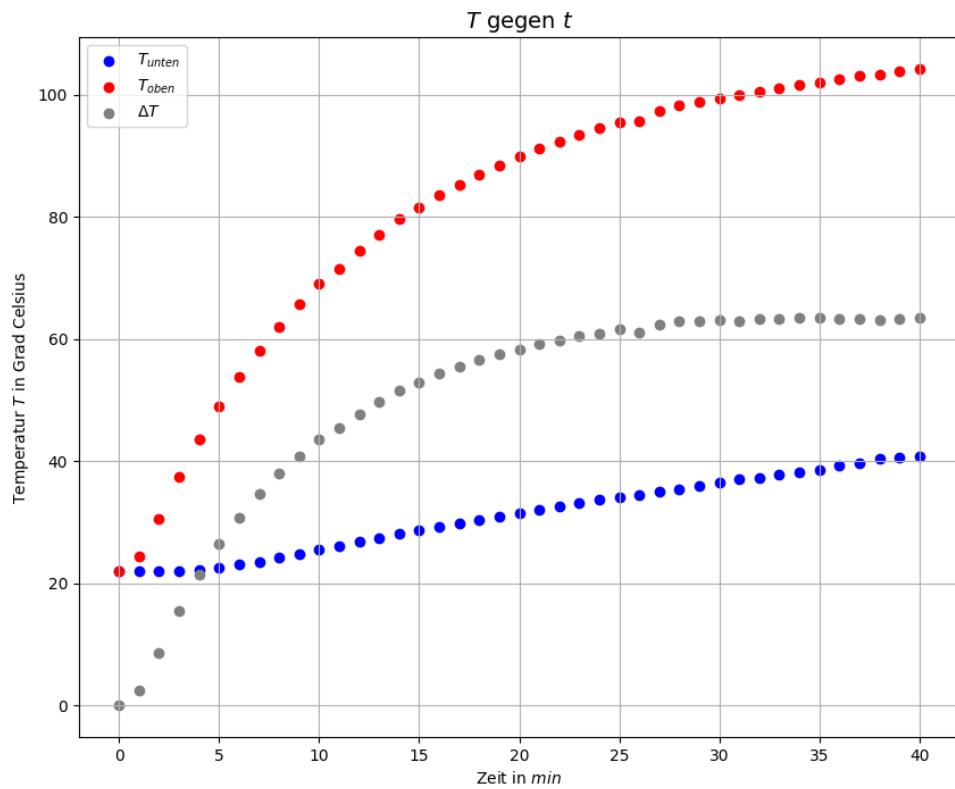


**Abbildung 4:** Die Temperaturen am oberen sowie am unteren Stabende und deren Differenz aufgetragen gegen die Zeit.

Der Stationärefall tritt etwa bei  $T = 24 \text{ min}$  ein. Das ergibt eine stationäre Temperaturdifferenz von:

$$\Delta T_{Cu} = 28.5 \pm 0.18^\circ C \quad (10)$$

Hierzu wurde der Mittelwert aller Messpunkte sowie die Standardabweichung nach  $T = 24 \text{ min}$  verwendet. Im Folgenden wurde dann die stationäre Temperaturdifferenz für den Alustab mit gleicher Methodik bestimmt. Der Stationäre Fall tritt bei dieser Messreihe bei etwa  $T = 28 \text{ min}$  ein.



**Abbildung 5:** Die Temperaturen am oberen sowie am unteren Stabende und deren Differenz aufgetragen gegen die Zeit.

Es ergab sich eine Temperaturdifferenz von:

$$\Delta T_{Al} = 63.18 \pm 0.23^\circ C \quad (11)$$

#### 4.4 Teil 4, Wärmeleitungskonstanten

Um die Wärmeleitungskonstanten von Kupfer und Aluminium zu bestimmen, kann die unten stehende Gleichung benutzt werden. Zudem entspricht die Wärmeleistung  $P$  der in Aufgabe 2 ermittelten übertragenen Leistung. Weiterhin bezeichnet  $\Delta x$  den Abstand zwischen den beiden Temperaturfühlern,  $\Delta T$  die stationäre Temperaturdifferenz aus Aufgabe 3 und  $A$  die jeweilige Querschnittsfläche der beiden Metallstäbe.

$$\lambda = \frac{P \Delta x}{A \Delta T} \quad (12)$$

Sowohl der Kupfer- als auch der Aluminiumstab besitzen denselben Durchmesser von  $d = 25 \pm 1$  mm. Somit ergibt sich für die Querschnittsfläche

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (13)$$

Der Fehler

$$\Delta A = \pm \left| \frac{\partial A}{\partial d} \right| \Delta d = \pm \frac{\pi}{2} d \Delta d. \quad (14)$$

Der Abstand beträgt für beide Stäbe  $\Delta x = l = 30.00 \pm 0.25$  cm. Damit lässt sich die Wärmeleitungsconstante  $\lambda$  bestimmen. Für den Fehler ergibt sich

$$\Delta \lambda = \pm \left( \left| \frac{\partial \lambda}{\partial P} \right| \Delta P + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial l} \right| \Delta l + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial \Delta T_{\text{stat}}} \right| \Delta (\Delta T_{\text{stat}}) + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial A} \right| \Delta A \right). \quad (15)$$

Nach Differenzieren und Umformung erhält man schließlich

$$\Delta \lambda = \pm \lambda \left( \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta (\Delta T_{\text{stat}})}{\Delta T_{\text{stat}}} \right). \quad (16)$$

Unter Verwendung der Gleichungen (13) und (16) ergeben sich die Wärmeleitungsconstanten:

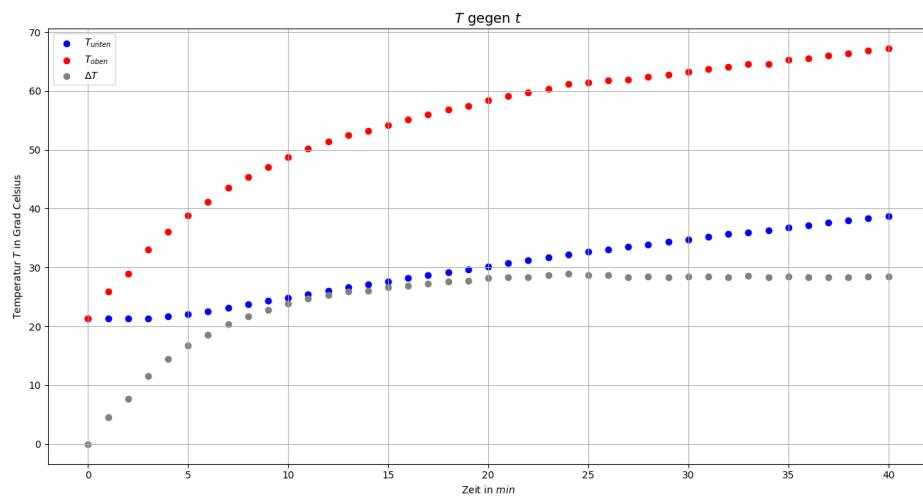
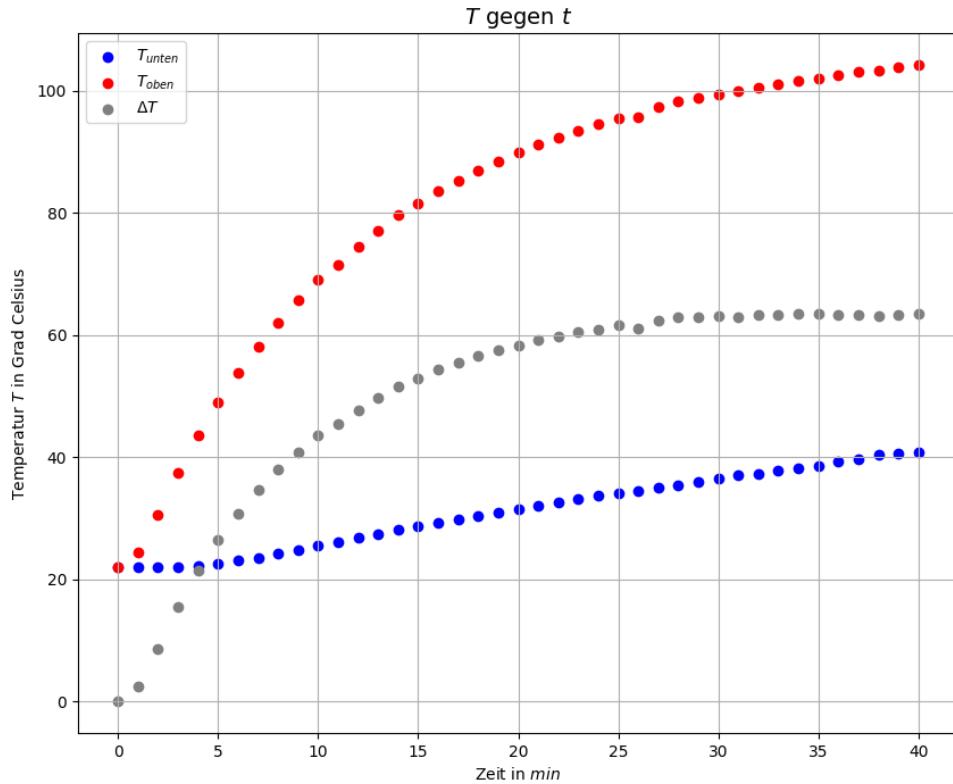
$$\lambda_{\text{Cu}} = 412.74 \pm 101,97 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \quad (17)$$

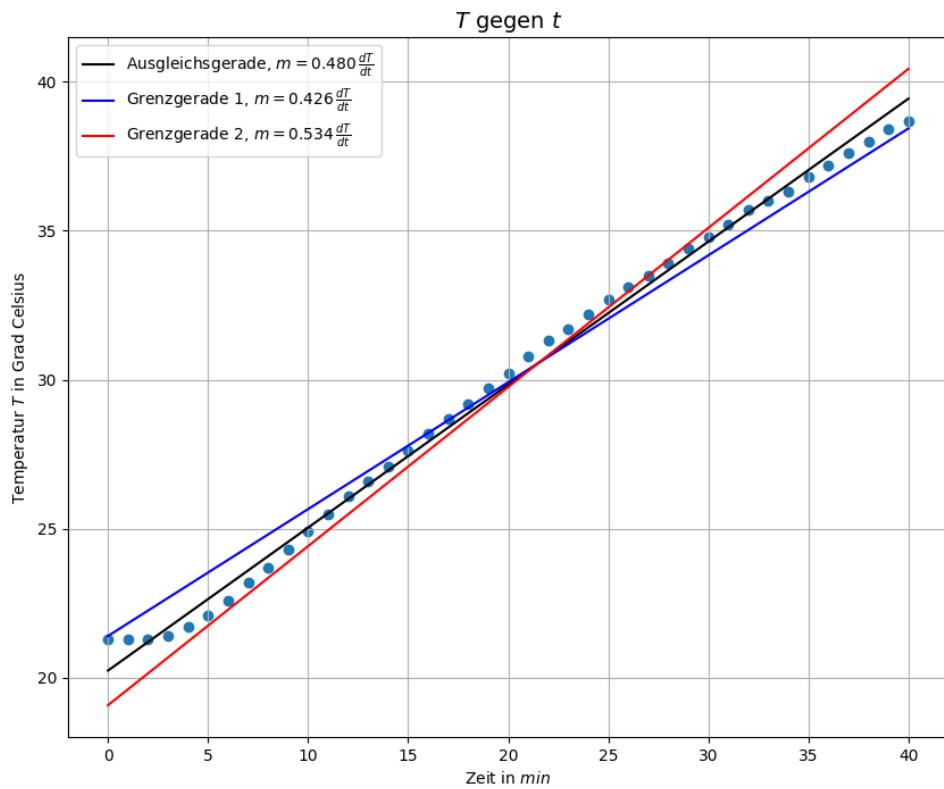
$$\lambda_{\text{Al}} = 163,00 \pm 30.92 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \quad (18)$$

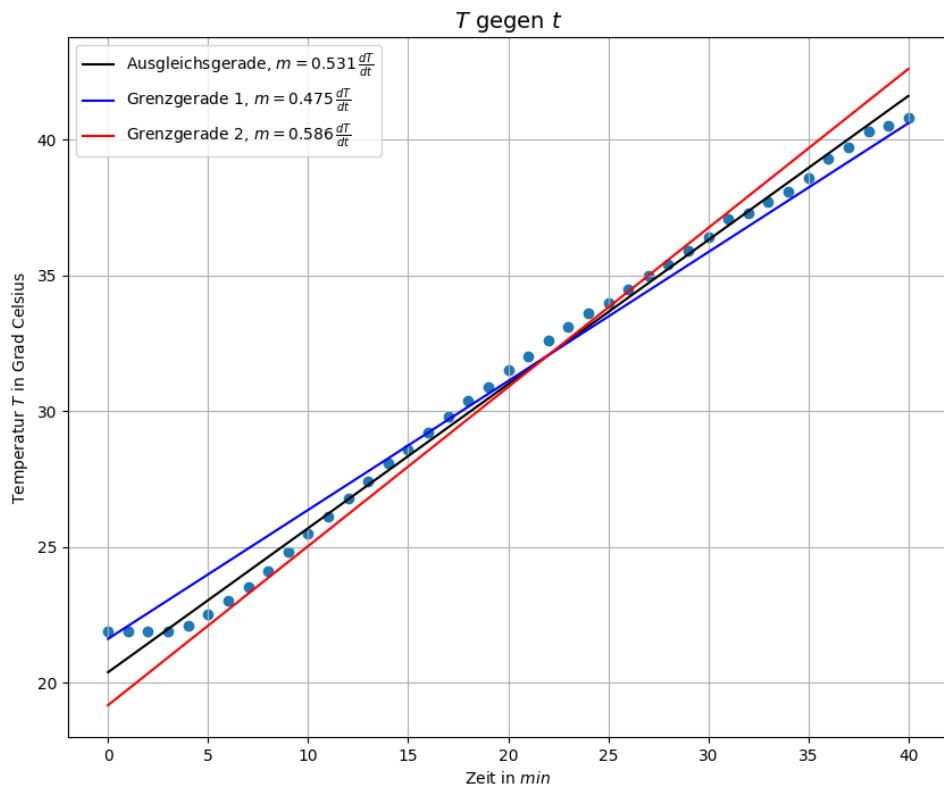
Die Literaturwerte betragen  $\lambda_{\text{Cu}, \text{Lit}} = 401 \text{ W}/(\text{m K})$  und  $\lambda_{\text{Al}, \text{Lit}} = 237 \text{ W}/(\text{m K})$  [Wärmeleitfähigkeiten]. ««< HEAD Der Wert für Kupfer stimmt – unter Berücksichtigung der Fehlertoleranzen – mit dem Literaturwert überein. Für Aluminium zeigt sich jedoch selbst innerhalb der Unsicherheiten eine deutliche Abweichung. Die Werte für das Aluminium stammen von der anderen Gruppe weswegen eine genaue Fehleranalyse schwerfällt. Einer der Hauptgründe für die hohe Abweichung vom Literaturwert wird aber wohl der falsche Wasserwert sein, ===== Der Wert für Kupfer stimmt, unter Berücksichtigung der Fehlertoleranzen, mit dem Literaturwert überein. Für Aluminium zeigt sich jedoch selbst innerhalb der Unsicherheiten eine deutliche Abweichung. Die Werte für das Aluminium stammen von der anderen Gruppe weswegen eine Genaue Fehleranalyse schwerfällt. Einer der Hauptgründe für die hohe Abweichung vom Literaturwert wird aber wohl der Falsche Wasserwert sein, »»> a80354ba1503776dddced0e60de6727fe21cf390 da dieser nicht von der anderen Gruppe übernommen wurde.

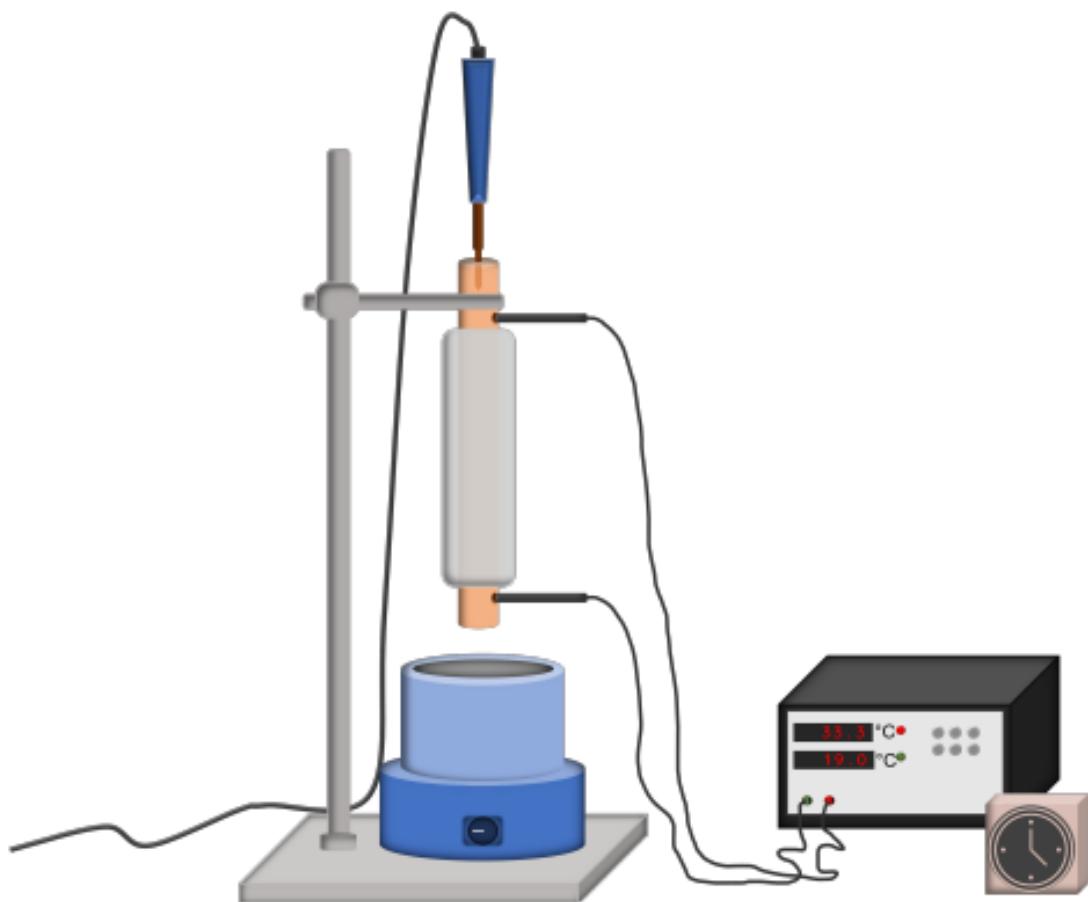
## 5 Zusammenfassung

## 6 Anhang









Dewar-Gefäß leer		
Dewar-Gefäß voll		
Messzeit in min	Temp	Temp
0	27,9	27,9
1	27,9	29,4
2	27,9	30,5
3	27,9	37,4
4	22,7	43,5
5	22,5	48,9
6	23	53,7
7	23,5	58,1
8	24,7	62
9	24,8	65,6
10	25,5	69
11	26,7	77,3
12	26,8	79,5
13	27,4	77,1
14	28,7	79,7
15	28,6	81,5
16	29,2	83,5
17	29,8	85,2
18	30,4	86,3
19	30,9	88,4
20	31,5	89,8
21	32,0	91,7
22	32,6	92,3
23	33,7	93,5
24	33,6	94,5
25	34,0	95,5
26	34,5	95,6
27	35,0	97,4
28	35,8	98,2
29	35,9	98,8
30	36,4	99,4
31	37,1	100
32	37,3	100,5
33	37,7	101,0
34	38,7	101,6
35	38,6	102,0
36	39,3	102,6
37	39,7	103,0
38	40,3	103,3
39	40,5	103,8
40	40,8	104,2

$m_{Gefäß} = 287,9 \text{ (leer)}$

$m_{Gefäß} = 674,9 \text{ (voll)}$

Abfrage: 9/10

Nice Job

Teil 2			
Dewar-Gefäß leer	200,5 g	Start Themp:	
Dewar-Gefäß voll	650,80 g	oben: 21,87 °C unten: 21,88 °C	
Messung im min.	Temp 1>unteren	Temp 2>oben	Kupferstab Länge 400 cm 30 cm 82 cm Durchmesser: 2,5 cm ± 0,03 mm
1	27,3	22,7	
2	27,3	25,3	
3	27,9	29,6	
4	27,7	33,0	
5	27,1	36,1	
6	23,6	38,8	
7	23,2	41,2	
8	23,7	43,4	
9	24,3	45,4	
10	24,9	47,1	
11	25,5	48,8	
12	26,1	50,2	
13	26,6	51,4	
14	27,1	52,5	
15	27,6	53,2	
16	28,2	54,2	
17	28,7	55,1	
18	23,2	56,0	
19	23,7	56,8	
20	30,2	57,5	
21	30,8	58,4	
22	31,3	59,1	
23	31,3	59,7	
24	32,2	60,4	
25	32,7	61,7	
26	33,1	61,4	
27	33,5	61,9	
28	33,9	62,4	
29	34,4	62,7	
30	34,8	63,3	
31	35,2	63,7	
32	35,7	64,1	
33	36,0	64,6	
34	36,3	64,6	
35	36,8	65,3	
36	37,2	65,5	
37	37,6	66,0	
38	38,0	66,1	
39	38,4	66,9	
40	38,7	67,2	
41			

W10 - Wärmeleitung										
05.11.2025										
Start: 14:35	Ferdinand Frey									
Ende: 16:24	Tom Alcoser									
Umgebungsdaten:										
Raumtemp:										
Fenster geschlossen										
Materialien:										
Thermometer: IDNR 68351 → NR: 710300123003										
Rührer + Dewargefäß IDNR 698355										
Lötkolben, Mufflerstab, Messbecher, isolierter Messbecher										
Stopuhr ± 5 msec (+ Reaktionszeit)										
<u>Teil 1</u> 200,5 <del>200,5</del> 185 Wasser ausgeschaltet ±29										
Messung in sec	Temp <sub>1</sub> in °C	Temp <sub>2</sub> in °C	Messung in sec	Temp <sub>1</sub>	Temp <sub>2</sub>					
30	69,5	20,8	90	47,4						
60	68,9	20,9	95	47,4						
60			100	47,3						
90	68,4	20,9	105	47,3						
120	67,7	20,9	110	47,3						
150	67,1	20,9	115	47,3						
180	66,5	20,9	120	47,2						
210	66,1	20,9	115	47,2						
240	65,5	20,9	130	47,2						
270	64,9	20,8	135	47,2						
300	64,4	20,9	30	47,0						
5		22,2	60	40,8						
10		24,2	90	40,2						
15		26,8	120	40,5						
20		28,5	150	40,4						
25		29,7	180	40,3						
30		31,8	210	40,1						
35		33,7	240	40,0						
40		35,9	270	39,8						
45		37,7	300	39,7						
50		38,3								
55		39,2								
60		40,4								
65		40,9								
70		41,3								
75		41,5								
80		41,9								
85										

## 7 Literaturverzeichnis