

Theorie - Begriffe

Gleichgewichtszustand

Ein Gleichgewichtszustand ist ein Zustand in dem sich der betrachtete Parameter eines Systems nicht ändert, aber es können dennoch permanent Vorgänge stattfinden (dynamisches Gleichgewicht). Es gibt labile, stabile und metastabile Gleichgewichte, wobei labil schon gegen die kleinste Störung der Parameter sich von Gleichgewicht zu entfernen beginnt. Stabile hingegen kehren nach allen Störungen zurück in den Gleichgewichtszustand, während metastabile Gleichgewichte sich bei kleinen Störungen noch stabil sind, jedoch bei größeren labil werden.

Stationäre Temperaturverteilung

Bei einer stationären Temperaturverteilung verändert sich das Temperaturprofil des Zustands nicht mehr. Jeder Ort hat somit zu allen Zeiten eine bestimmte konstante Temperatur. Das heißt jedoch nicht, dass die Verteilung homogen sein muss, da es ja weiterhin einen Durchfluss von Wärme geben kann.

Wärmemenge

Wärme ist die thermische Energie, welche zwischen System transportiert wird. Ihre Einheit ist daher Joule und sie setzt sich aus den kinetischen Energien der einzelnen Teilchen eines Stoffes zusammen. Sie wird solange zwischen Systemen ausgetauscht bis keine Temperaturdifferenz mehr zwischen ihnen besteht und sie sich somit im thermodynamischen Gleichgewicht befinden.

Thermoelement

Ein Thermoelement ist ein Temperatursensor, welcher mittels des Seebeck-Effekts funktioniert. Es besteht aus 2 zwei unterschiedlichen Metallen, bei denen eine Lötstelle an die zu messende Temperaturquelle herangebracht wird und eine andere sich auf einer genau bekannten Referenztemperatur befindet. Aus der dadurch entstehenden Thermospannung lässt sich die Temperaturdifferenz zwischen den Lötstellen berechnen:

$$(1) \quad \Delta T = \frac{U_{thermo}}{(k_{Metal2} - k_{Metal1})}$$

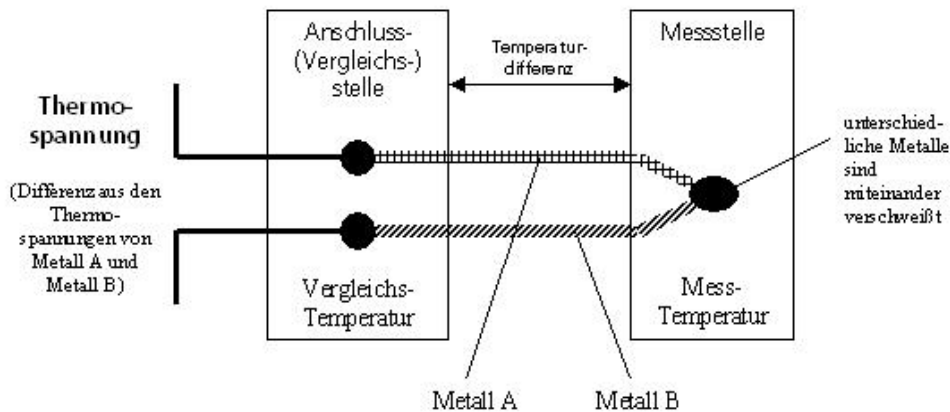


Abb.1: Skizze des Aufbaus eines Thermoelements

Isolatoren

Isolatoren sind Stoffe mit geringer Leitfähigkeit (thermische oder elektrische). Durch sie fließt Wärme/Strom nur sehr schwer und werden daher meist näherungsweise als nicht leitend, also isolierend angenommen. Da bei Isolatoren keine Leitungselektronen vorhanden sind, geschieht die Wärmeübertragung nur durch Gitterschwingungen der Phononen, welche allerdings eine viel kleinere, freie Weglänge vorweisen.

Schwarzer Körper

Der Schwarze Körper oder auch Schwarze Strahler ist ein idealisiertes Objekt, welche sich im thermodynamischen Gleichgewicht befindet und alle auftreffende Strahlung absorbiert und in einem Spektrum gemäß des Plank'schen Strahlungsgesetzes wieder emittiert.

Spezifische Wärme

Die Spezifische Wärme (Als Formelzeichen gewöhnlich „c“) gibt an, welche Energie man einem Kilogramm eines Stoffes zuführen muss, um seine Temperatur um ein Kelvin zu erhöhen. Typische Werte für c sind zum Beispiel:

Material	Spezifische Wärme [J / K * g]
Aluminium	0,896
Kupfer	0,381
Wasser (20°C)	4,187
Chlor	0,502

Temperaturgradient

Als **Temperaturgradienten** bezeichnet man einen räumlichen Temperaturunterschied, der durch einen Gradienten beschrieben werden kann.

Der Temperaturgradient ist üblicherweise in alle drei Raumrichtungen ausgerichtet und gibt daher den Temperaturunterschied in x-, y-, und z-Richtung an. Für spezielle Anwendungen ist jedoch auch nur ein zwei- oder gar eindimensionaler Temperaturgradient wichtig, wobei sich dieser auch wesentlich einfacher auf mathematischem Wege beschreiben lässt.

Wärmestrom

Der **Wärmestrom** Φ ist definiert als die zeitliche Änderung der thermischen Energie über die Grenzen eines homogenen Systems hinweg, also der Wärme Q pro Zeit t (Die SI-Einheit des Wärmestroms ist Watt):

$$(2) \quad \Phi = \dot{Q} := \frac{Q}{\Delta t}$$

Für den Fall der eindimensionalen Wärmeleitung ergibt sich

$$(3) \quad \Phi = -\lambda \cdot \frac{\partial T(x, t)}{\partial x}$$

Hierbei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

- T - Temperatur
- λ - Wärmeleitfähigkeit
- x - eindimensionale Raumkoordinate in x-Richtung

Wärmestromdichte

Die **Wärmestromdichte** ist definiert als die zeitliche Änderung der thermischen Energie über die Grenzen eines homogenen Systems hinweg, bezogen auf einen bestimmten Querschnitt.

Man kann daher auch analog vom Wärmestrom \dot{Q} pro Fläche A sprechen:

$$(4) \quad \dot{q} := \frac{Q}{A\Delta t} = \frac{\dot{Q}}{A}$$

Wärmeübertragung:

Man spricht von **Wärmeübertragung**, wenn zwischen Systemen mit Temperaturunterschied *Wärme* vom System mit der höheren Temperatur zu demjenigen mit der niedrigeren Temperatur *übertragen* wird (**Wärmeausgleich** oder **Wärmeübergang**). Die Wärmeübertragung wird charakterisiert durch den Wärmeübergangskoeffizienten. Die Wärmeübertragung ist irreversibel und findet immer vom höheren Energieniveau auf das Niedrigere statt (bzw. „von heiß nach kalt“).

Dies kann auf zwei Arten erfolgen:

- Durch *Wärmeleitung*, dabei wird kinetische Energie zwischen benachbarten Atomen oder Molekülen übertragen.
- Durch *Wärmestrahlung* mittels elektromagnetischer Wellen. Sie erfolgt hauptsächlich im infraroten Spektrum.

Durch *Konvektion* oder Mitführung, kann keine Wärme, sondern nur innere Energie oder Enthalpie übertragen werden, indem Atome oder Moleküle gasförmiger oder flüssiger Materialien sich bewegen. Meist wirken bei realen Systemen mehrere Übertragungsarten zusammen. Innerhalb von Festkörpern findet nur Wärmeleitung statt, in Flüssigkeiten und Gasen Wärmeleitung gekoppelt mit Konvektion, d. h. Strömung. Wärmestrahlung findet vorzugsweise zwischen Oberflächen, auch im Vakuum, statt.

Wärmeleitung

Unter **Wärmeleitung**, wird die Wärmeübertragung in Folge eines Temperaturunterschiedes in einem Kontinuum (Festkörper oder Fluid) verstanden. Wärme fließt dabei aufgrund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik von selbst immer nur in Richtung geringerer Temperatur.

Die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung \dot{Q} wird durch das **Fouriersche Gesetz** beschrieben, das für den vereinfachten Fall eines festen Körpers mit zwei parallelen Wandflächen lautet:

$$(5) \quad \dot{Q} = \frac{\lambda}{\delta} A (T_{W_1} - T_{W_2})$$

Hierbei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

- T_{W_1} die Temperatur der wärmeren Wandoberfläche
- T_{W_2} die Temperatur der kälteren Wandoberfläche
- A die Fläche, durch die die Wärme strömt,
- λ der Wärmeleitkoeffizient, eine meist temperaturabhängige Stoffgröße, und
- δ die Dicke der Wand sind.

Die Wärmestromdichte ist nach dem Fourierschen Grundgesetz wie folgt definiert:

$$(6) \quad \dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } \vartheta$$

Laut des Energieerhaltungssatzes geht bei der Wärmeleitung keine Wärme verloren.

Konvektion

Ist die Wärmeleitung in einem Stoff gering (v.a. in Flüssigkeiten und Gasen) ist es effektiver, Wärme durch Strömungen zu transportieren. Erwärmt sich ein Fluid so dehnt es sich aus und erleidet einen Auftrieb. Überschreitet der Temperaturunterschied zwischen zwei Stellen ein gewisses Maß (Reibung und Wärmeleitung wirken ja entgegen), dann stellt sich eine Strömung ein, wodurch Wärme schneller "transportiert" wird als über Gitterschwingungen, wie dies normal der Fall wäre.

Wärmestrahlung

Hierbei handelt es sich um Strahlung, welche ein Körper in Abhängigkeit seiner Temperatur emittiert. Dadurch führt der Körper einen Wärmeaustausch mit seiner Umgebung durch und würde (wenn er keine weitere Strahlung absorbiert) dadurch langsam auskühlen.

Strahlungsgesetze

Das Plank'sche Strahlungsgesetz ist die Grundlage für alle anderen Strahlungsgesetze, welche dann Abwandlungen und Folgerungen daraus sind. Obwohl Plank zur ursprünglichen Herleitung noch keine Quantisierung des Lichtes (elektromagnetischer Strahlung) verwendete, ist es jedoch eine erst später von Einstein gezogene Schlussfolgerung aus seiner Formel und bildet somit die Grundlage für die Quantenmechanik.

$$(7) \quad \lambda_{\max} T = 2897,8 \mu\text{m} \cdot K \quad u(\omega) = \frac{\hbar}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

Daraus ergeben sich als Grenzfälle für große und für kleine Frequenzen das Wien'sche Gesetz bzw. das Rayleigh-Jeans-Gesetz. Wenn man aus dem Plank'sche Strahlungsgesetz die Strahlungsleistung in Abhängigkeit der Temperatur wissen will, erhält man nach entsprechenden Umformungen das Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$(8) \quad P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Wenn man an der Wellenlänge interessiert ist, bei der die meisten Photonen abgestrahlt werden, kann man sich auch das Wien'sche Verschiebungsgesetz herleiten und man bekommt:

$$(9) \quad \lambda_{\max} T = 2897,8 \mu\text{m} * K$$

Darüber hinaus, kann man das Plank'sche Strahlungsgesetz, welches nur für Schwarze Körper gilt, auch für reale Körper verallgemeinern und gelangt so zum Kirchhoffschen Strahlungsgesetz.

Versuch 1: Bestimmung der Wärmeleitzahl von Metallen

Im ersten Versuch sollte die Wärmeleitzahl eines Metallstabes bestimmt werden.

Aufbau:



Abb.2: Versuchsaufbau des ersten Experiments

Durchführung:

Zuerst wurde die Dicke des Stabes mit einer Schiebelehre an 5 verschiedenen Stellen gemessen und daraus ein Mittelwert ermittelt. Dann haben wir den Teflondeckeln des Ofens abgenommen, damit das linke Stabende in den Ofen geschoben werden kann. Als nächstes wurde die Wasserkühlung aktiviert und kurz gewartet, bis diese sich eingestellt hat. Dann erst wurde die Heizung eingeschaltet und mittels Regeltrafo auf den vorgegebenen Wert von 0,6 A eingestellt. Dann haben wir den Schreiber aktiviert und auf eine Geschwindigkeit von 30 cm/h eingestellt. Als nächstes mussten wir warten, bis sich die Thermospannung an den Thermoelementen auf einen konstanten Wert eingestellt hat, was länger als eine Stunde dauerte. Danach lasen wir die Werte der jeweiligen Thermospannung an den jeweiligen

Thermoelementen ab. Als nächstes wurde der Stab aus der Heizung gezogen (und im Kühlbehälter belassen), um die Heizung zu verschließen und soviel Heizleistung zuzuführen, sodass sich an diesem Thermoelement wieder die gleiche Thermospannung einstellt, was bei gleicher Temperatur der Fall ist.

Versuch 2 - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Isolatoren

Im zweiten Versuch sollte die Wärmeleitfähigkeit einer Kunststoffplatte bestimmt werden. Hier stand eine zweite Kunststoffplatte, deren Wärmeleitfähigkeit bekannt war zur Verfügung, sowie ein Thermoelement aus einer Cu-Ko Legierung

Aufbau

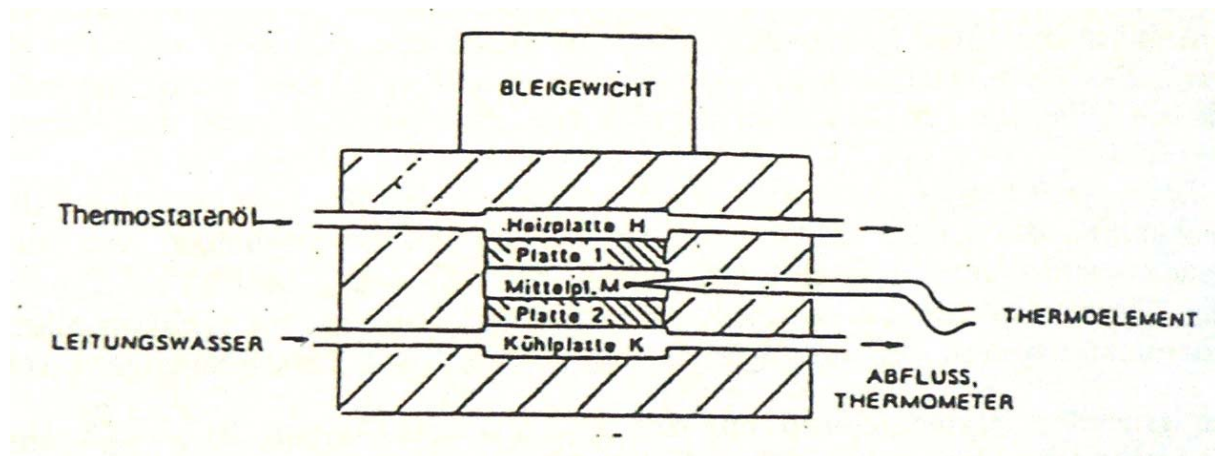


Abb.3: Aufbau des zweiten Experiments

Im ersten Teil des zweiten Experiments war Platte 1 die Platte, deren Leitfähigkeit bekannt war und Platte 2 diejenige, deren Leitfähigkeit zu bestimmen war. Im zweiten Teil wurden einfach die Platten vertauscht. Die Mittelpf. M bestand aus einer Kupfer-Konstantan Legierung, deren Eichkurve (T gegen mV) bekannt war.

Durchführung

Als erstes haben wir die Dicke der Platten bestimmt, ob sie in etwa gleich dick sind. Dann haben wir den Versuch gemäß Abb.3. aufgebaut, worauf die Aktivierung der Wasserkühlung folgte. Als nächstes haben wir Wassereis in ein Dewargefäß gegeben und kurz gewartet, bis ein wenig Schmelzwasser vorhanden war. Dies war notwendig für die Eichung der

Mittelplatte, wofür eine Referenztemperatur von 0°C wichtig war. Danach wurde die Heizung auf 75°C eingestellt und aktiviert. Dann mussten wir solange warten, bis sich die Thermospannung der Mittelplatte auf einem konstanten Wert eingependelt hat (alle 10 Minuten wurde die Thermospannung abgelesen und mit dem vorherigen Wert verglichen). Im zweiten Teil des Experiments wurden einfach die 2 Platten vertauscht und aus den errechneten Werten für die Wärmeleitfähigkeit wurde daraus ein Mittelwert ermittelt.

Versuch 3 - Bestimmung der spezifischen Wärme von Metallen

Hier musste die spezifische Wärme von Kupfer ermittelt werden, welche sich aus dem Vergleich der Abkühlungskurve mit der eines Körper mit gleicher Farbe, dessen Wärmeleitfähigkeit bekannt war, in unserem Fall Aluminium, ermitteln ließ.

Aufbau

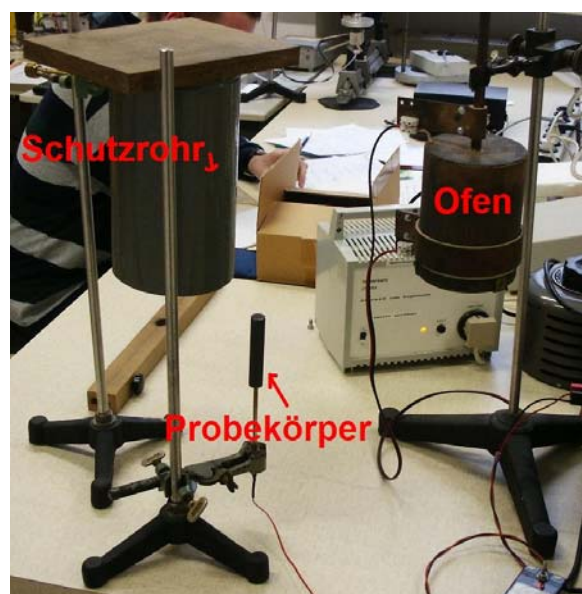


Abb.4.: Aufbau des dritten Experiments

Durchführung

Es war ein Zylinder aus Kupfer vorhanden, dessen spezifische Wärme bekannt war sowie ein Zylinder aus Aluminium, dessen spezifische Wärme wir ermitteln sollten. Zuerst haben wir die Zylinder jeweils 5-mal abgewogen um den jeweiligen Mittelwert zu erhalten. Dann wurde der Probekörper aus Kupfer „in den Ofen gestellt“. Der Schreiber, der die Entwicklung der Thermospannung, welche durch die Erwärmung des Probekörpers erzeugt wurde, mitschreiben sollte, wurde auf 0mv und der Wertebereich auf 10mV eingestellt. Jetzt konnte die Heizung eingeschaltet werden und wir warteten, bis die Thermospannung einen Wert von 10mV erreicht hat, was dem maximal empfohlenen Temperaturwert von etwa 270°C entspricht (bei höheren Temperaturen würde das Thermoelement unter Umständen Schäden erleiden). Als dies der Fall war, haben wir den Probekörper aus der Heizung genommen und in das Schutzrohr gestellt, damit es möglichst ohne zusätzliche Luftzirkulationen abkühlen kann, was den Abkühlungsprozess verfälschen würde. Selbiger Vorgang wurde für den Probekörper aus Aluminium wiederholt. Aus den Abkühlungskurven und einer beigelegten Tabelle für die spezifische Wärme von Kupfer konnten wir dann die spezifische Wärme von Aluminium ermitteln.

Auswertung

1. Bestimmung der Wärmeleitzahl von Metallen

Zuerst einmal rechnet man sich die Heizleistungen des Ofens mit Stab und ohne Stab aus. Aus der Differenz der beiden ergibt sich die Heizleistung, mit welcher der Stab erwärmt wurde. Hierfür verwendeten wir die Formel:

$$(10) \quad q = I * U - I_0 * U_0$$

wobei I und U Strom und Spannung mit Stab sind und I_0 und U_0 dieselben ohne Stab sind (Werte siehe Tabelle1). Für q erhalten wir einen Wert von

$$(2,4 \pm 0,2)W$$

Um aus den gemessenen Thermospannungen die jeweilige Temperaturdifferenz zu errechnen muss man die Spannungen stets mit 18,18 K/mV multiplizieren. Dies funktioniert da der Anstieg der Eichkurve konstant ist. Die hier verwendeten und erhaltenen Werte sind in Tabelle2 nachzulesen. Anschließend kann man aus den Temperaturdifferenzen sich für jede eine Zahl y berechnen, welche wie folgt definiert ist:

$$(11) \quad y_i = \ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_i} = \beta x_i$$

Der Index i läuft nun von 2 bis 6. x ist der Abstand der Messpunkte vom Ofen. Die Werte von x und y sind in der Tabelle3 nachzulesen. Nun kann man daraus durch lineare Regression der einzelnen Messwerte sich das β berechnen.

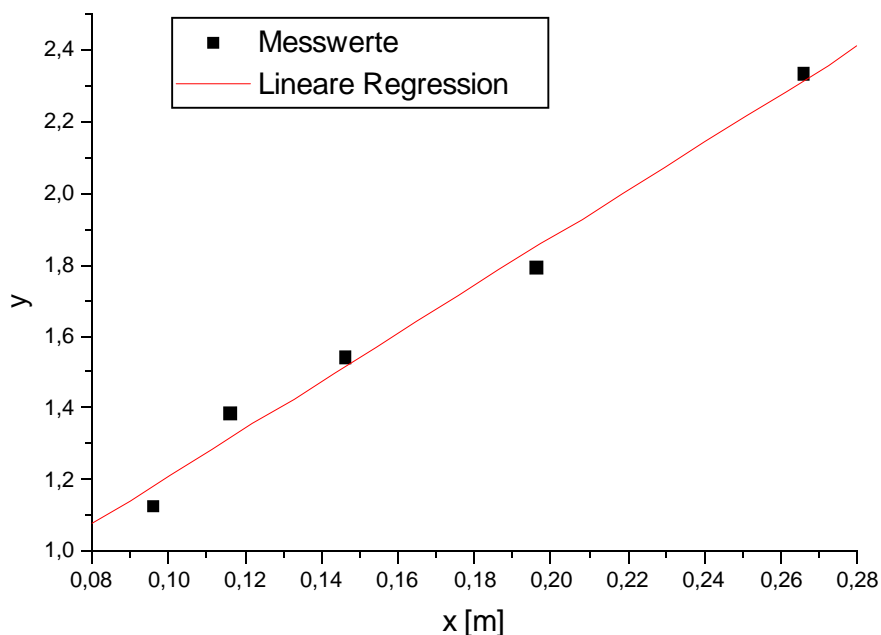


Abb5.: Messwerte und Lineare Regression von x gegen y. Die Steigung der Gerade entspricht β . Alle 5 Werte weichen zum Glück relativ gering vom linearen Gesetz ab.

Man erhält aus der Linearen Regression ein β von:

$$(6,7 \pm 0,5) 1/m$$

Weiters war der Durchmesser d des Stabes zu messen. Hierzu führten wir 5 Messungen an verschiedenen Orten am Stab durch (Werte siehe Tabelle 4) und errechneten uns einen Mittelwert welcher

$$(0,00592 \pm 0,00005)m$$

betrug. Daraus erhält man dann eine Umfang p von

$$(0,0186 \pm 0,0002)m$$

und eine Querschnittsfläche s von

$$(0,0000275 \pm 0,0000003)m^2$$

Nun kann man sich schlussendlich aus all den bekannten Größen die gesuchte Wärmeübergangszahl und die Wärmeleitfähigkeit berechnen. Für die Wärmeübergangszahl α benutzen wir folgende Formel:

$$(12) \alpha = \frac{q * \beta}{\lambda * \Delta T_1}$$

und für die Wärmeleitfähigkeit λ verwendeten wir diese Formel:

$$(13) \lambda = \frac{\alpha * p}{\beta^2 * s}$$

Man erhielt somit durch Rechnung ein Wärmeübergangszahl von

$$(11 \pm 1)W/(m^2 K)$$

und eine Wärmeleitfähigkeit von

$$(163 \pm 23)W/(m K)$$

2. Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Isolatoren

Die bestimmten Dicke und Fläche beider Platten stellte sich als fast gleich heraus. Man könnte sie in Rahmen der Fehlergrenzen vernachlässigen, doch wir haben sie bei der Rechnung (welcher der Computer macht) einfach mitgeführt. Deren Dicken und Querschnittsflächen sind in Tabelle 5 nachzulesen. Als Temperatur der Heizplatte T_H nahmen wir $(75 \pm 1)^\circ\text{C}$ und die Temperatur der Kühlplatte T_K betrug $(10,6 \pm 0,1)^\circ\text{C}$. Nach dem die Thermospannung einen konstanten Wert (Temperaturverläufe siehe Tabelle 6) erreicht hatte, ermittelten wir daraus die Temperatur der mittleren Platte mittels der Eichkurve. Diese betrug als die weiße Platte oben lag:

38°C bei einer Spannung von $1,54\text{mV}$

und als dann die schwarze Platte oben lag:

51°C bei einer Spannung von $2,11\text{mV}$.

Man konnte sich nun durch die Formeln:

$$(14) \Delta T_1 = T_H - T_M$$

$$(15) \Delta T_2 = T_M - T_K$$

die beiden ΔT berechnen. Nun konnte man sich für beide Kombinationen die Wärmeleitfähigkeit der unbekanntes schwarzen Platte mittels der Formel:

$$(16) \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\Delta T_1 * s_1 * l_2}{\Delta T_2 * s_2 * l_1}$$

wobei der Index 1 immer für obere Platte steht und 2 immer für die untere. Da alle s und l fast gleich sind könnte man diese auch streichen und hätte somit nur mehr das Verhältnis der beiden Temperaturen auf der einen Seite über. Man erhält bei einem bekannten l für die weiße Platte von $0,158 \text{ W}/(\text{m K})$ eine Wärmeleitfähigkeit für die schwarze Platte von

$(0,21 \pm 0,1) \text{ W}/(\text{m K})$ (wenn die weiße oben liegt)

bzw.

$(0,26 \pm 0,2) \text{ W}/(\text{m K})$ (wenn die weiße unten liegt)

Daraus ergibt sich ein Mittelwert für die Wärmeleitfähigkeit der schwarzen Platte von

$0,24 \text{ W}/(\text{m K})$

3. Bestimmung der spezifischen Wärme von Metallen (Abkühlmethode)

Die Bestimmung der Massen der beiden Metalle ergab für Aluminium eine Masse von $(35,9165 \pm 0,0003)\text{g}$ und für Kupfer $(110,5414 \pm 0,0002)\text{g}$. Die einzelnen Messungen sind in der Tabelle 7 nachzulesen. Nach dem geschickten Messen der Steigung der Tangenten konnte man durch einfache Multiplikation die jeweiligen dT/dt berechnen und in folgende Formel bei gleichen Temperaturen einsetzen:

$$(17) \quad c_1 = c_2 \frac{m_2 \left(\frac{dT}{dt} \right)_2}{m_1 \left(\frac{dT}{dt} \right)_1}$$

Die Werte für c_2 wurden aus den bekannten Werten auch noch für andere Temperaturen interpoliert. Zu guter Letzt wurde aus allen nun erhaltenen Werten (siehe Tabelle 8 für c_1) ein Mittelwert gebildet und die spezifische Wärme von Aluminium betrug:

$$(1004 \pm 98)\text{J}/(\text{kg K})$$

Interpretation

1. Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Metallen

Anhand der von uns gemessenen Wärmeleitfähigkeit konnten wir leider kein Metall finden aus welchem der Stab bestehen könnte (von Aussehen her). Das einzig vernünftige Metall welches halbwegs in unserem Bereich ist Aluminium mit einer Wärmeleitfähigkeit von 204 W/(m K) . Vermutlich handelt es sich also dabei um eine Legierung die einen hohen Anteil Aluminium enthält.

2. Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Isolatoren

Die schwarze Platte ist ein etwas besserer Wärmeleiter als die weiße. Was bei diesem Versuch auffällig war, war der starke Unterschied zwischen beiden Messungen, was auf systematische Fehler zurückzuführen ist. Dies wurde jedoch durch die Bildung des Mittelwertes beider Messungen halbwegs kompensiert.

3. Bestimmung der spezifischen Wärme von Metallen (Abkühlmethode)

Der Literaturwert der spezifischen Wärme von Aluminium liegt bei 896 J/(kg K) . Unser Wert liegt leider etwas oberhalb dieses Wertes. Mit den Fehlergrenzen kommt man jedoch schon fast heran. Der Literaturwert liegt somit nur etwas außerhalb unserer 1σ -Abweichung.

Tabelle1

I [A]	0,60	0,01
U [V]	10,5	0,1
P [W]	6,3	0,1
I_0 [A]	0,48	0,01
U_0 [V]	8,1	0,1
P_0 [W]	3,9	0,1

Tabelle2

Für alle hier vorkommenden Spannungen gilt eine Genauigkeit von 0,02mV und für alle hier vorkommenden Temperaturen eine Genauigkeit von 0,4K.

U_1 [mV]	U_2 [mV]	U_3 [mV]	U_4 [mV]	U_5 [mV]	U_6 [mV]
4,44	1,44	1,11	0,95	0,74	0,43

ΔT_1 [K]	ΔT_2 [K]	ΔT_3 [K]	ΔT_4 [K]	ΔT_5 [K]	ΔT_6 [K]
80,7	26,2	20,2	17,3	13,5	7,8

Tabelle3

i	x [m]	y
2	0,096	1,126
3	0,116	1,386
4	0,146	1,542
5	0,196	1,792
6	0,266	2,335

Tabelle4

d [mm]
5,95
5,9
5,9
5,95
5,9

Tabelle5

	weiß	schwarz
s [m ²]	0,007473850	0,007589220
σs [m ²]	0,000000002	0,000000002
l [m]	0,00605	0,00610
σl [m]	0,00005	0,00005

Tabelle6*bei weißer Platte oben*

t [10min]	U _M [mV]
0	1,17
1	1,48
2	1,54
3	1,54
4	1,54

bei schwarzer Platte oben

t [10min]	U _M [mV]
0	1,28
1	1,92
2	2,05
3	2,1
4	2,11
5	2,11

Tabelle7

	m2 [g]	m1 [g]
1	110,5414	35,9161
2	110,5413	35,917
3	110,5414	35,9165
4	110,5412	35,9162
5	110,5418	35,9167

Tabelle8

T [°C]	Steigung1	Steigung2	(dT/dt) ₁	(dT/dt) ₂	c2 [J/(kg K)]	c1 [J/(kg K)]
270	3,75	4,7	66,67	52,62	417,8	1012
245	6,6	7,4	37,47	33,42	414,3	1137
220	9	10,3	27,48	24,01	410,8	1102
195	10	12,3	24,73	20,11	407,3	1019
170	12,5	15,2	20,00	16,27	403,8	1011
145	17,3	22,4	14,29	11,04	400,3	952
120	21,8	31	11,34	7,98	396,8	859
95	30	42	8,24	5,89	393,3	865
70	53,6	59,2	4,66	4,18	389,8	1074