

**VERSUCH NUMMER**

**TITEL**

AUTOR A

authorA@udo.edu

AUTOR B

authorB@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Dipole in Ionenkristalle . . . . .	3
2.2 Dipolpolarisation . . . . .	3
2.3 Berechnung der Aktivierungsenergie . . . . .	4
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Versuchsaufbau . . . . .	5
3.2 1. Messreihe . . . . .	5
3.3 2. Messreihe . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1 Bestimmung des Untergrundes . . . . .	6
4.2 Niedertemperatur Approximation . . . . .	11
<b>5 Auswertung, Kevin</b>	<b>11</b>
5.1 Approximative Ausgleichsrechnung . . . . .	11
5.2 Ausgleichsrechnung mit Integration . . . . .	11
<b>6 Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>7 Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>Literatur</b>	<b>17</b>

# 1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuches ist die Untersuchung der Dipolrelaxation der strontiumdotierten Ionenkristalle Caesiumiodid und Kaliumbromid. Dafür wird die Relaxationszeit  $\tau(T, W, \tau_0)$  der Dipole in den Kristallen bestimmt. Die Temperatur  $T$  wird während des Versuches gemessen, wogegen die Aktivierungsenergie  $W$  und die charakteristische Relaxationszeit  $\tau_0$  über den ebenfalls gemessenen Depolarisationsstrom berechnet werden können

## 2 Theorie

Die Dipolrelaxation wird in diesem Versuch an Ionenkristallen beobachtet. Werden die Dipole der Kristalle durch ein äußeres elektrisches Feld aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt, benötigen sie eine Zeit um sich nach Abschalten des elektrischen Feldes wieder in ihre Ausgangslage zurück zubewegen. Der Übergang vom ausgelenkten Zustand zurück in den Ruhezustand wird als Relaxationsprozess bezeichnet. Die Dauer wird Relaxationszeit genannt.

### 2.1 Dipole in Ionenkristalle

Dieser Versuch wird an dem Ionenkristalle Kaliumbromid durchgeführt. Ein Ionenkristall ist durch seine Eigenschaft definiert, abwechselnd aus Anionen und Kationen aufgebaut zu sein. Kaliumbromid besitzt eine einfach kubische Kristallstruktur, da die Kaliumkationen ( $\text{K}: 4s^1 \rightarrow \text{K}^+: 3p^6$ ) und die Bromanionen ( $\text{Br}: 4p^5 \rightarrow \text{Br}^-: 4p^6$ ) jeweils eine flächenzentriert kubische Struktur besitzen, die um eine Gitterkonstante in eine Raumrichtung gegeneinander verschoben sind. Dadurch ist das Kriterium der abwechselnden Kationen-Anionen-Anordnung erfüllt. Ein solcher Ionenkristall ist durch diese regelmäßige Ionenanordnung nach außen elektrisch neutral. Um die Entstehung von Dipolen im Kristall zu ermöglichen wird die Probe mit einem Anteil von 0,005% mit Strontiumiodid ( $\text{Sr}^{++}: 4p^6$ ,  $\text{I}^-: 5p^6$ ) dotiert. Da Strontiumiodid zweifach positiv geladene Strontiumionen enthält, entstehen Kaliumleerstellen, die mit der zusätzlichen positiven Ladung einen Dipol bilden, damit die Gesamtladungsneutralität des Kristalls aufrechterhalten werden kann. Ein Ionenkristall besteht aus alternierend negativ und positiv geladenen Ionen und ist nach außen somit neutral. Wird ein solcher Kristall mit zweifach geladenen Ionen dotiert entstehen Kationen-Leerstellen um die Ladungsneutralität aufrechtzuerhalten (Abb. ??).

### 2.2 Dipolpolarisation

Die Dipole, welche sich aus den Strontiumkationen und den Leerstellen ergeben, sind entsprechend ihrer Position im Gitter ausgerichtet. Da nur diskrete Gitterplätze möglich sind, ist auch die Richtungsverteilung der Dipole bei Raumtemperatur statistisch diskret verteilt. Eine Richtungsänderung der Dipole ist durch Leerstellendiffusion möglich, wenn eine materialspezifische, thermische Energie überschritten wird. Sie wird Aktivierungsenergie  $W$  genannt. Die Anzahl der Dipole deren Energie ausreichend zur Diffusion ist, ist durch die Boltzmann-Verteilung gegeben. Das heißt, wenn die spezifische Aktivierungsenergie

überschritten wird (Umgebungstemperatur muss ausreichend hoch sein), dann bewegen sich die Dipole zurück in ihre Ausgangslage. Die Relaxation beginnt. Je größer die Umgebungstemperatur, desto mehr Energie steht den Dipolen zur Verfügung und desto schneller relaxieren sie. Das heißt die Relaxationszeit

$$\tau(T) = \tau_0 \exp\left(\frac{W}{k_B T}\right) \quad (1)$$

wird mit steigender Temperatur kleiner. Die Bewegung der Ladungsträger während der Relaxation führt zu einem Strom innerhalb des Kristalls, welcher Depolarisationsstrom genannt wird. Dieser kann mit Strom durch weitere bewegliche Ladungsträger (z.B. aufgrund von Störstellen) überlagert werden (Untergrund).

### 2.3 Berechnung der Aktivierungsenergie

Um die Aktivierungsenergie zu bestimmen können zwei Ansätze verwendet werden, wobei beide den Depolarisationsstrom beinhalten. Der erste Ansatz wird über die Depolarisationsstromdichte geführt. Dabei wird zunächst davon ausgegangen, dass diejenigen Dipole  $y(T)$ , die sich durch ein angelgtes elektrisches Feld ausgerichtet haben durch

$$y(T) = \frac{pE}{3k_B T}$$

gegeben sind. Der Depolarisationsstrom  $j(t)$  kann dann über die ausgerichteten Dipole  $y(T)$  über

$$j(t) = y(T_P) p \frac{dN}{dt}$$

ausgedrückt werden, wobei  $p$  das Dipolmoment und

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N}{\tau(T)}$$

die Stromdichte, also die pro Zeit und Volumeneinheit relaxierenden Dipole darstellt. Eine Integration dieses Ausdrucks führt dann auf

$$N = N_P \exp\left(-\frac{1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')}\right)$$

wobei  $N_P$  die Anzahl der bereits zu Beginn des Relaxationsprozesses, entsprechend des Gleichgewichtszustandes orientierten Dipole darstellt. Die konstante Temperaturänderung ist definiert als

$$b = \frac{dT}{dt}.$$

Für den Depolarisationsstrom ergibt sich somit die Gleichung

$$j(T) = \frac{p^2 E}{3k_B T_P} \frac{N_P}{\tau_0} \exp \left( -\frac{1}{b\tau_0} \int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{W}{k_B T'} \right) dT' \right) \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right)$$

wobei dieser Ausdruck für  $T_0 \approx T$  aufgrund des Zusammenhangs

$$\int_{T_0}^T \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right) dT' \approx 0$$

weiter zu

$$j(T) \approx \frac{p^2 E}{3k_B T_P} \frac{N_P}{\tau_0} \exp \left( -\frac{W}{k_B T} \right) \quad (2)$$

approximiert werden kann. Aus diesem Ergebnis kann schließlich die Aktivierungsenergie  $W$  abgeleitet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von  $W$  liegt in einem Ansatz der über die Polarisierung  $P$  geführt wird. Die zeitliche Ableitung der Polarisierung ist als

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P(t)}{\tau(T(t))}$$

gegeben, wobei sie einen Strom durch den Probenquerschnitt  $F$  erzeugt und daher auch als

$$\frac{dP}{dt} = \frac{j(t)}{F} \quad .$$

geschrieben werden kann. Somit lassen sich die oberen Gleichungen auf die Form

$$\tau(T) = \frac{\int_T^\infty j(T') dT'}{bj(T)}$$

bringen. Wenn  $\tau(T)$  durch Gleichung (??) ersetzt wird kann schließlich die Aktivierungsenergie aus der Form

$$\frac{W}{k_B T} = \ln \left( \frac{\int_T^\infty j(T') dT'}{bj(T)\tau_0} \right) \quad (3)$$

abgelesen werden. In der Praxis gilt  $j(T \rightarrow \infty) = j(T^*) \approx 0$ . Dieser Abschnitt wurde mittels des Literaturangaben [1] [5] [4] und [3] erstellt.

## 3 Durchführung

### 3.1 Versuchsaufbau

#### 3.2 1. Messreihe

Zu Beginn des Versuches wird die Kaliumbromidplatte, welche sich zwischen den Plattenkondensatoren befindet auf 47 °C erhitzt. Danach wird an die Kondensatorplatten eine Spannung von

950 V angelegt. Dabei richten sich die Dipole im Kristall entlang der E-Feldlinien aus. Der Aufbau wird für 900s in diesem Zustand beibehalten, um eine Ausrichtung möglichst vieler Dipole zu realisieren. Nach dieser Zeit wird die Probe mit flüssigem Stickstoff auf unter  $-60^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Wenn diese Temperatur erreicht ist, werden die Kondensatorplatten für 5 min kurzgeschlossen um ein vollständiges abflachen des EFeldes zu ermöglichen. Jetzt wird mit einer konstanten Heizrate von  $2^{\circ}\text{C}$  pro Minute ausgehend von  $-60^{\circ}\text{C}$  erhitzt bis eine Temperatur von  $57^{\circ}\text{C}$  überschritten wird. Währenddessen werden alle 30s die Wertepaare Temperatur und Depolarisationsstrom aufgenommen.

### 3.3 2. Messreihe

Für den zweiten Messdurchgang wird die Probe erneut einem elektrischen Feld ausgesetzt, welches für 15 min anliegt. Dadurch soll wie im ersten Durchlauf eine Maximalanzahl, der am EFeld ausgerichteten Dipole erzeugt werden. Danach wird der Kondensator mit der Probe im Inneren durch flüssigen Stickstoff auf unter  $-40^{\circ}\text{C}$  abgekühlt. Bevor die Messwerte aufgenommen werden können, muss wieder eine Wartezeit von 5 min eingehalten werden, währenddessen der Kondensator kurzgeschlossen wird, sodass das Feld komplett abflachen kann. Danach wird die Temperatur wieder konstant erhöht, wobei minütlich die Wertepaare Temperatur und Depolarisationsstrom aufgenommen werden.

[2]

## 4 Auswertung

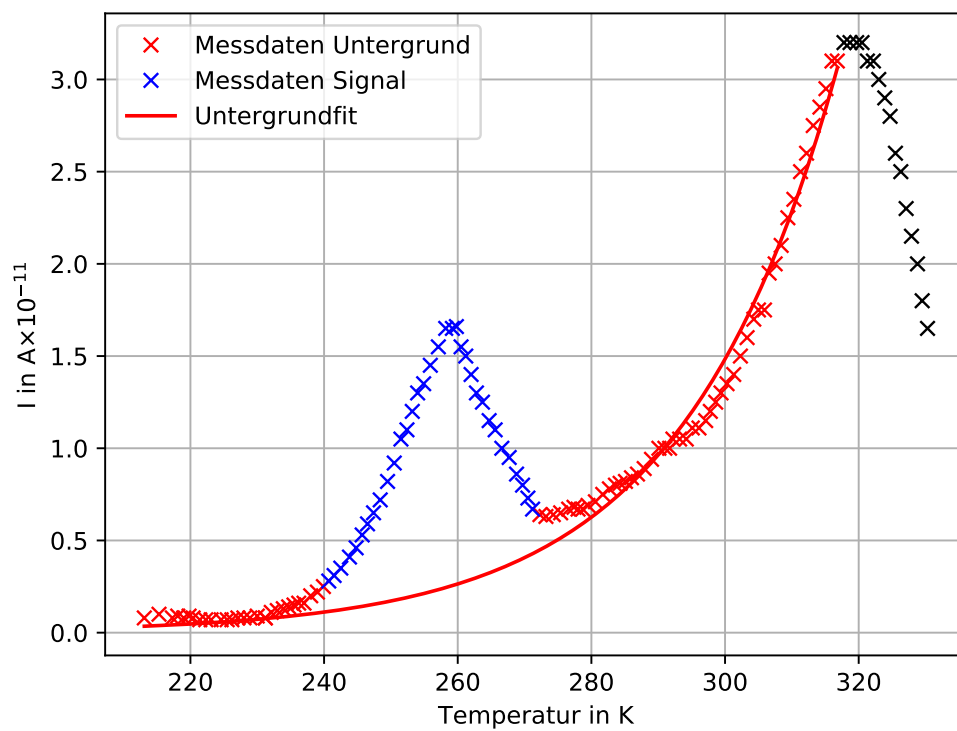
In diesem Versuch werden zwei Temperatur-Strom-Kurven mit unterschiedlichen Heizraten  $b$  analysiert. Messreihe A hat eine Heizrate von  $b_A = 2 \text{ K/min}$  und es wurde in dem Temperaturbereich  $T \in [213,1 \text{ K}, 330,3 \text{ K}]$  gemessen. Für Messreihe B beträgt die Heizrate  $b_B = 1 \text{ K/min}$  und der vermessene Temperaturbereich ist  $T \in [232,7 \text{ K}, 289,6 \text{ K}]$ . In beiden Fällen ist Kaliumbromid KBr der verwendete Kristall. Die Messdaten sind in Tabelle 2 abgebildet.

### 4.1 Bestimmung des Untergrundes

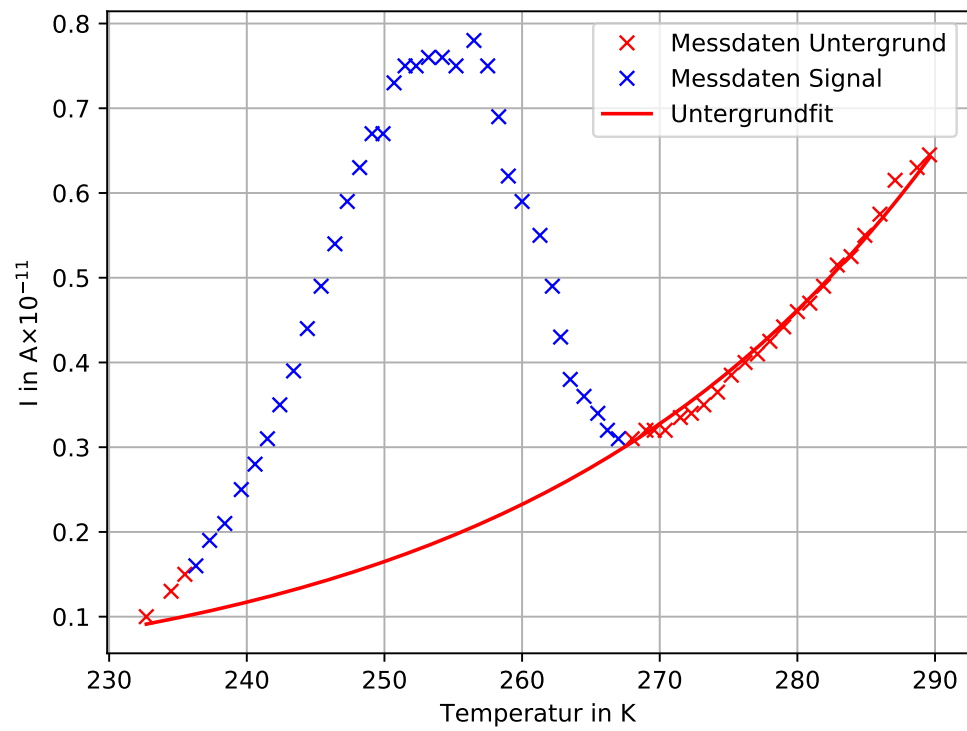
Um den Untergrund zu bestimmen wird die Exponentialfunktion

$$I_U(T) = C \cdot \exp(D \cdot T) \quad (4)$$

an die Messdaten vor und nach dem Peak gefittet. Die Messdaten und die Fits sind in Abbildung 1 und 2 abgebildet.



**Abbildung 1:** Messdaten und Untergrundfit für Messreihe A, hierbei können die Messdaten nach dem zweiten Peak nicht für die Bestimmung des untergrundes verwendet werden.



**Abbildung 2:** Messdaten und Untergrundfit für Messreihe B.

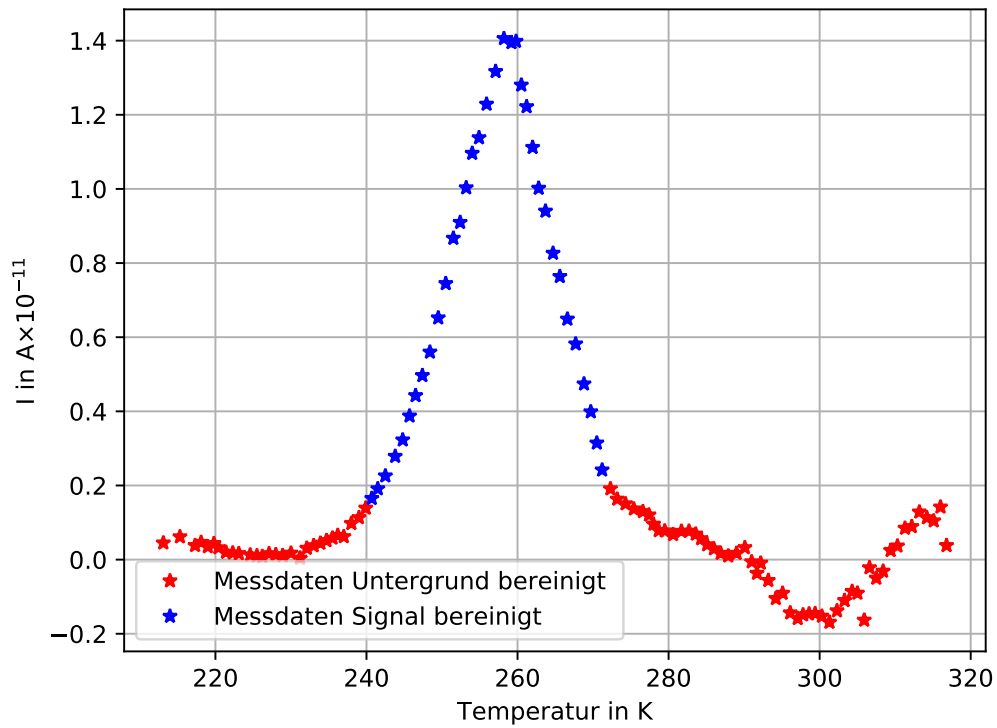


Die Fitparameter sind in der Tabelle 1 aufgelistet.

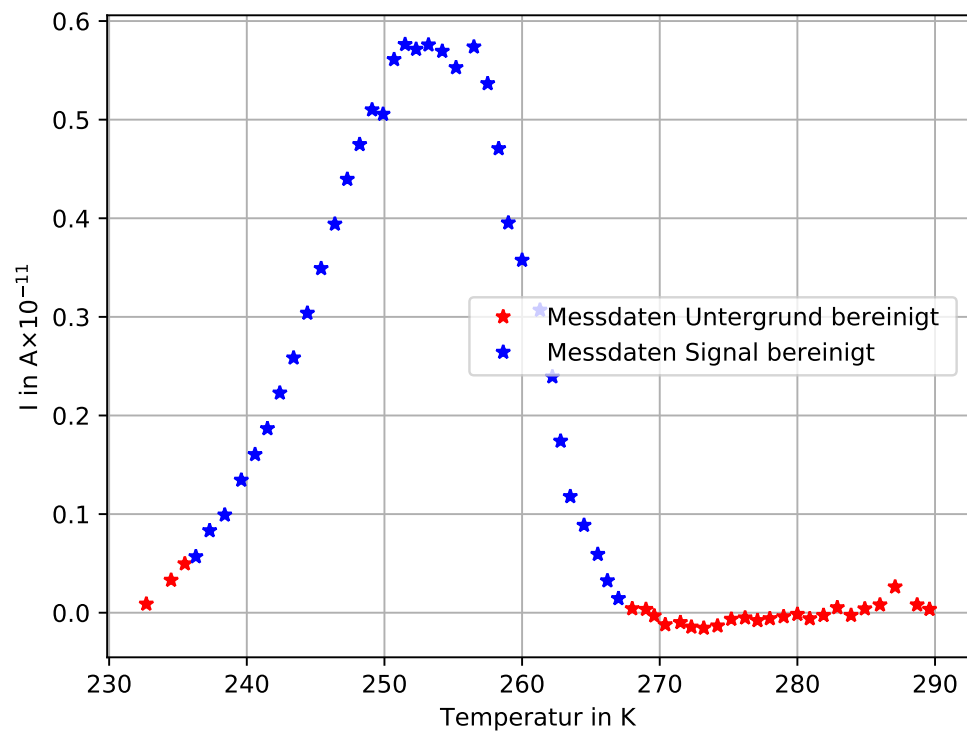
**Tabelle 1:** Fitparameter für die Untergrundfunktionen der beiden Messreihen.

Messreihe	$C / A$	$D / /K$
A	$(3,5 \pm 0,9) \cdot 10^{-6}$	$0,0431 \pm 0,0008$
B	$(3,1 \pm 0,9) \cdot 10^{-5}$	$0,0343 \pm 0,0010$

Um die Messreihe vom Untergrund zu bereinigen, werden von den gemessenen Stromwerten der Wert der Untergrundfunktion zu der dazugehörigen Temperatur subtrahiert. Die bereinigten Messwerte sind in Abbildung 3 und 4 zu sehen.



**Abbildung 3:** Vom Untergrund bereinigte Messdaten der Messreihe A.



**Abbildung 4:** Vom Untergrund bereinigte Messdaten der Messreihe B.

## 4.2 Niedertemperatur Approximation

Um die Aktivierungsenergie  $W$  zu ermitteln, wird die Gleichung (??) verwendet. Dafür werden die bereinigten Messdaten im Bereich

## 5 Auswertung, Kevin

Es werden in diesem Versuch zwei Messreihen mit unterschiedlicher Heizrate  $b$  durchgeführt. Zunächst müssen die Messwerte von Untergründen bereinigt werden, auf die im Folgenden eingegangen wird. Für die erste Messreihe – im Folgenden mit dem Index A gekennzeichnet – gilt  $b_A = 2 \text{ K/min}$ , für die Zweite, mit B gekennzeichnete Messreihe gilt  $b_B = 4 \text{ K/min}$ .

Alle Fehler in dieser Auswertung werden – wenn nicht anders beschrieben – mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzungen mit Hilfe des `python`-Paketes `uncertainties` [`py-uncertainties`] berechnet.

Zur Beschreibung des oben genannten Untergrundes wird bei Messreihe A eine exponentielle Funktion  $I_{\text{bkg,A}}(T)$  und bei Messreihe B eine lineare Funktion  $I_{\text{bkg,B}}(T)$  von den Daten abgezogen. Die Variablen der Funktionen werden durch Fit an einen Teil der Daten bestimmt, der in Abbildungen ?? und ?? markiert ist. Die Fitfunktionen haben die Gestalt

$$\begin{aligned} I_{\text{bkg,A}}(T) &= A_1 e^{B_1(T-T_0)} + C_1, \\ I_{\text{bkg,B}}(T) &= A_2 \cdot T + B_2. \end{aligned}$$

Das Resultat, sowie der Fit sind ebenfalls in oben genannter Abbildung dargestellt und die entsprechenden Daten in den Tabellen ?? und ?? aufgeführt. Im weiteren Verlauf wird dabei jeweils ein Offset  $I_{\text{off}}$  von den Daten abgezogen. Dieser beträgt für Datensatz A  $I_{\text{off}} = 1,46 \text{ pA}$  und für Datensatz B  $I_{\text{off}} = 8,1 \text{ pA}$ . Bei der ersten Messreihe ist auffällig, dass nur ein einzelner, flacher Peak zu erkennen ist. Dies macht die spätere Auswertung extrem schwierig. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse der ersten Messreihe im weiteren Verlauf nicht betrachtet.

### 5.1 Approximative Ausgleichsrechnung

Zunächst wird die in Abschnitt ?? aufgeführte Gleichung ?? zur Bestimmung der Aktivierungsenergie  $W$  benutzt. Dabei wird diese mit einem nicht-linearen Fit in einem Bereich  $T$  zwischen 250 K to 267 K an die Daten angepasst. Das Ergebnis des Fits ist in Abbildung ?? dargestellt. Der Fit liefert von Messreihe A liefert

das entsprechende Ergebnis aus Messreihe B liefert

Die zugehörigen Fits sind in Abbildungen ?? und ?? dargestellt.

### 5.2 Ausgleichsrechnung mit Integration

Als zweite Methode zur Bestimmung der Aktivierungsenergie  $W$  wird ein linearer Fit der Form

$$F(T) = \alpha \cdot \frac{1}{T} + \beta$$

an die inversen Temperaturdaten  $1/T$  durchgeführt. Hierbei ist  $F(T)$  wie in Gleichung ?? definiert als

$$F(T) = \frac{\int_T^{T^*} i(T') dT'}{i(T)}.$$

Aus der Steigung  $A$  lässt sich somit die Aktivierungsenergie  $W$  berechnen durch

$$W = \alpha \cdot k_B.$$

Außerdem wird schließlich die Relaxationszeit  $\tau_0$  aus der Temperatur bei maximalem Strom  $T_{\max}$  bestimmt:

$$\tau_0 = \frac{k_B T_{\max}^2}{Wb} \exp\left[-\frac{W}{k_B T_{\max}}\right] \quad (5)$$

Die Fits sind in Abbildungen ?? und ?? dargestellt, sie liefern

für Datensatz A in einem Bereich  $T \in [260 \text{ K}, 310 \text{ K}]$  bei und für Datensatz B in einem Bereich  $T \in [250 \text{ K}, 280 \text{ K}]$  bei . Die Fehler dieser Werte berücksichtigen jedoch keine systematischen Unsicherheiten und werden daher stark unterschätzt. Darauf wird in der Diskussion weiter eingegangen.

## 6 Diskussion

Alle hier durchgeführten Methoden zur Bestimmung der Aktivierungsenergie  $W$  liefern Werte im erwarteten Bereich von einigen Millielektronvolt. Die verschiedenen Messreihen liefern unterscheiden sich jedoch um einen Faktor (approximative Methode) beziehungsweise (integrierende Methode), was auf systematische Fehler hindeutet und mit weiteren Messungen untersucht werden muss.

Die mit Hilfe der integrierenden Methode bestimmten Werte der Relaxationszeit  $\tau_0$  sind schließlich nicht signifikant. Die Fehler berücksichtigen nicht die starke Abhängigkeit von  $\tau_0$  von der Aktivierungsenergie  $W$ , die in Abbildung ?? dargestellt ist. Bei einer Änderung von  $W$  um einige 100 meV ändert sich der Wert der Relaxationszeit bereits um etliche Größenordnungen. Änderungen in diesem Bereich treten bereits auf, wenn der Wertebereich des Fits leicht verändert wird und einige Meßpunkte mehr oder weniger betrachtet werden. Die damit verbundenen Fehler machen eine Aussage über den wahren Wert von  $\tau_0$  unmöglich. Die Unsicherheit  $\Delta\tau_0$  sollte daher wesentlich zu größeren Werten hin korrigiert werden.

## 7 Diskussion

**Tabelle 2:** Temperatur und Strom für Messreihe A und B, bei A wurden halbminütig und bei B jede Minute ein Datenpaar aufgezeichnet.

Zeit $t$ / min	Messreihe A		Messreihe B	
	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A
0,0	213,1	0,08	232,7	0,1
0,5	215,3	0,1	-	-
1,0	217,3	0,08	234,5	0,13
1,5	218,1	0,09	-	-
2,0	219,0	0,08	235,5	0,15
2,5	219,8	0,09	-	-
3,0	220,4	0,08	236,3	0,16
3,5	221,4	0,07	-	-
4,0	222,3	0,07	237,3	0,19
4,5	223,1	0,07	-	-
5,0	224,6	0,07	238,4	0,21
5,5	225,5	0,07	-	-
6,0	226,2	0,07	239,6	0,25
6,5	227,1	0,08	-	-
7,0	228,0	0,08	240,6	0,28
7,5	228,9	0,08	-	-
8,0	230,0	0,09	241,5	0,31
8,5	231,2	0,08	-	-
9,0	231,2	0,08	242,4	0,35
9,5	232,1	0,11	-	-
10,0	233,0	0,12	243,4	0,39
10,5	233,9	0,13	-	-
11,0	234,7	0,14	244,4	0,44
11,5	235,5	0,15	-	-
12,0	236,2	0,16	245,4	0,49
12,5	237,0	0,16	-	-
13,0	238,0	0,2	246,4	0,54
13,5	239,0	0,22	-	-
14,0	239,9	0,25	247,3	0,59
14,5	240,7	0,28	-	-
15,0	241,5	0,31	248,2	0,63
15,5	242,5	0,35	-	-
16,0	243,8	0,41	249,1	0,67
16,5	244,8	0,46	-	-
17,0	245,7	0,53	249,9	0,67
17,5	246,5	0,59	-	-
18,0	247,4	0,65	250,7	0,73
18,5	248,4	0,72	-	-
19,0	249,5	0,82	251,5	0,75
19,5	250,5	0,92	-	-
20,0	251,5	1,05	252,3	0,75
20,5	252,4	1,1	-	-
21,0	253,2	1,2	253,2	0,76
21,5	254,0	1,3	-	-
22,0	254,9	1,35	254,2	0,76
22,5	255,9	1,45	-	-
23,0	257,1	1,55	255,2	0,75
23,5	258,2	1,65	-	-
24,0	259,2	1,65	256,5	0,78
24,5	259,8	1,66	-	-

Zeit $t$ / min	Messreihe A		Messreihe B	
	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A
25,0	260,5	1,55	257,5	0,75
25,5	261,2	1,5	-	-
26,0	262,0	1,4	258,3	0,69
26,5	262,8	1,3	-	-
27,0	263,7	1,25	259,0	0,62
27,5	264,7	1,15	-	-
28,0	265,6	1,1	260,0	0,59
28,5	266,6	1,0	-	-
29,0	267,7	0,95	261,3	0,55
29,5	268,8	0,86	-	-
30,0	269,7	0,8	262,2	0,49
30,5	270,5	0,73	-	-
31,0	271,2	0,67	262,8	0,43
31,5	272,3	0,64	-	-
32,0	273,2	0,63	263,5	0,38
32,5	274,3	0,64	-	-
33,0	275,4	0,65	264,5	0,36
33,5	276,6	0,67	-	-
34,0	277,4	0,68	265,5	0,34
34,5	278,0	0,67	-	-
35,0	278,7	0,67	266,2	0,32
35,5	279,5	0,69	-	-
36,0	280,6	0,71	267,0	0,31
36,5	281,7	0,75	-	-
37,0	282,7	0,78	268,0	0,31
37,5	283,6	0,8	-	-
38,0	284,3	0,81	269,0	0,32
38,5	285,1	0,82	-	-
39,0	286,0	0,84	269,6	0,32
39,5	286,9	0,86	-	-
40,0	287,9	0,89	270,4	0,32
40,5	289,0	0,94	-	-
41,0	290,1	1,0	271,5	0,335
41,5	291,0	1,0	-	-
42,0	291,7	1,0	272,3	0,34
42,5	292,2	1,05	-	-
43,0	293,2	1,05	273,2	0,35
43,5	294,2	1,05	-	-
44,0	295,1	1,11	274,2	0,365
44,5	296,1	1,11	-	-
45,0	297,1	1,15	275,2	0,385
45,5	297,8	1,2	-	-
46,0	298,6	1,25	276,2	0,4
46,5	299,4	1,3	-	-
47,0	300,3	1,35	277,1	0,41
47,5	301,3	1,4	-	-
48,0	302,3	1,5	278,0	0,425
48,5	303,3	1,6	-	-
49,0	304,3	1,7	279,0	0,442
49,5	305,0	1,75	-	-

Zeit $t$ / min	Messreihe A		Messreihe B	
	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A	Temperatur $T$ / K	Strom $I$ / $10^{-11}$ A
50,0	305,9	1,75	280,0	0,46
50,5	306,6	1,95	-	-
51,0	307,5	2,0	280,9	0,47
51,5	308,4	2,1	-	-
52,0	309,4	2,25	281,9	0,49
52,5	310,3	2,35	-	-
53,0	311,3	2,5	282,9	0,515
53,5	312,2	2,6	-	-
54,0	313,2	2,75	283,9	0,525
54,5	314,2	2,85	-	-
55,0	315,1	2,95	284,9	0,55
55,5	316,0	3,1	-	-
56,0	316,8	3,1	286,0	0,575
56,5	317,8	3,2	-	-
57,0	318,7	3,2	287,1	0,615
57,5	319,7	3,2	-	-
58,0	320,5	3,2	288,7	0,63
58,5	321,3	3,1	-	-
59,0	322,2	3,1	289,6	0,645
59,5	323,0	3,0	-	-
60,0	323,9	2,9	-	-
60,5	324,7	2,8	-	-
61,0	325,5	2,6	-	-
61,5	326,3	2,5	-	-
62,0	327,1	2,3	-	-
62,5	327,9	2,15	-	-
63,0	328,8	2,0	-	-
63,5	329,5	1,8	-	-
64,0	330,3	1,65	-	-



## Literatur

- [1] R.Fieschi C.Bucci. „Ionic Thermocurrents in Dielectrics“. In: *Physics Review* 148 (1966).
- [2] TU Dortmund. *V48 Dipolrelaxation in Ionenkristallen*. 2020.
- [3] H. Hamann K.D. Becker. „Untersuchungen zur Diffusion von Fremdionen und Leerstellen in kubischen Ionenkristallen mit Hilfe der kernmagnetischen Relaxation durch Quadrupol-Wechselwirkung“. In: *Berichte der Bundesengesellschaft für physikalische Chemie* 79 (1975).
- [4] J.Rolfe R. Muccillo. „Effect of Irradiation on Impurity–Vacancy Dipoles in KBr Crystals Doped with Strontium“. In: *Physica Status Solidi* 61 (1974).
- [5] R.G.Fuller R.M. Fuller. „Research Project for Undergraduates; Ionic Thermoconductivity in Dielectrics“. In: *American Journal of Physics* 40 (1972).