

V48

Dipolrelaxation in Ionenkristallen Korrektur

Ksenia Klassen
ksenia.klassen@udo.edu

Dag-Björn Hering
dag.hering@udo.edu

Durchführung: 03.05.2017

Abgabe: 29.05.2017

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Aufbau und Durchführung	5
3	Fehlerrechnung	6
4	Auswertung	7
4.1	Untergrund	7
4.2	Aktivierungsenergie	10
4.2.1	Näherungs-Methode	10
4.2.2	Integral-Methode	12
4.3	Charakteristische Relaxationszeit	15
5	Diskussion	16
	Literatur	17

1 Theorie

Die Dotierung von einwertigen Ionengittern mit zweiwertigen Kationen verursacht elektrische Dipole. Da ein Kristall nach außen hin ladungsneutral ist, entstehen Leerstellen. Diese Leerstellen und die zweiwertigen Kationen bilden die Dipole. Die Verbindungsachse zwischen diesen Störstellen legt die Orientierungsrichtung fest. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 1 dargestellt.

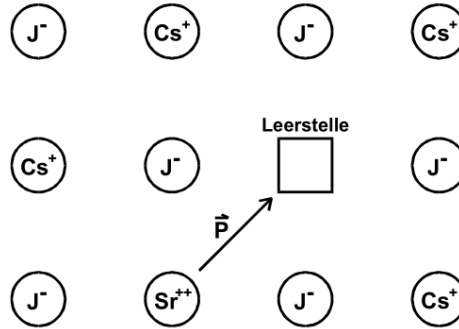


Abbildung 1: Dipol im Kristallgitter.[1]

Unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes bei Temperaturen unter 500 °C können die Dipole sich nur durch Leerstellendiffusion ausrichten. Allgemein sind die Ausrichtungen diskret, da die Störstellen nur auf Gitterpunkten liegen können. Damit eine Dipolausrichtung stattfindet muss eine Aktivierungsenergie zur Überwindung einer Potentialbarriere zugeführt werden. Die Form der Potentialbarriere ist materialspezifisch und festgelegt durch den räumlichen und periodischen Verlauf des Gitterpotentials. Die Zeit zwischen zwei Ausrichtungen wird Relaxationszeit genannt und hängt über die Relaxationsgleichung mit der Aktivierungsenergie W zusammen:

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

mit τ_0 als charakteristische Relaxationszeit.

Der Anteil der in einem elektrischen Feld ausgelenkten Dipole wird durch die Langevin-Gleichung beschrieben:

$$y = L(x) = \coth x - \frac{1}{x} \quad \text{mit } x = \frac{pE}{kT}; \quad (2)$$

Hierbei ist p der Betrag des Dipolmomentes. Unter der Annahme, dass $pE \ll kT$ lässt sich der Ausdruck für den Anteil der ausgerichteten Dipole ausdrücken als:

$$y(T) = \frac{pE}{3kT}. \quad (3)$$

Bei der Umlagerung der Dipole kann ein sogenannter Depolarisationsstrom gemessen werden, der Verlauf ist in Abbildung 2 dargestellt.

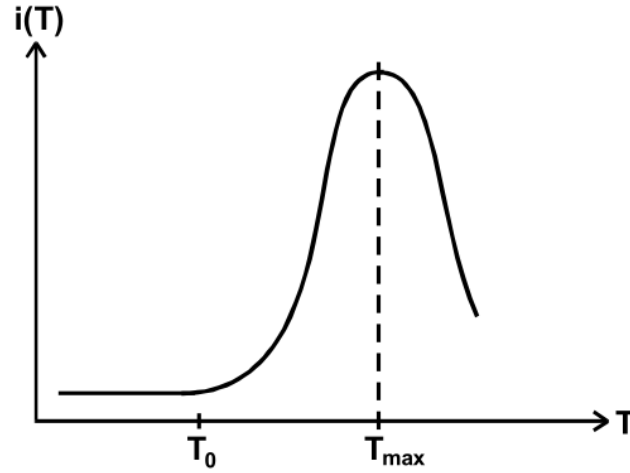


Abbildung 2: Verlauf vom Depolarisationsstrom in Abhängigkeit von der Temperatur.[1]

Hierbei beschreibt T_0 den Startpunkt der Relaxation und das Tupel T_{\max} und $I(T_{\max})$ den maximalen Depolarisationsstrom. Der rasche Anstieg zu Beginn kann mit der schnell abnehmenden Relaxationszeit erklärt werden, der anschließende Abfall durch die immer geringer werdende Anzahl an noch nicht relaxierten Dipolen. Es kann eine Depolarisationsstromdichte definiert werden:

$$j(T) = y(T)p \frac{dN}{dt}. \quad (4)$$

Diese besteht aus dem Produkt von p , dem Dipolmoment, dem Anteil der Dipole und $\frac{dN}{dt}$ die Anzahl der relaxierenden Dipole pro Zeit und Volumeneinheit. Für $py(T)$ gilt:

$$py(T) = \frac{p^2 E}{3kT_p}. \quad (5)$$

Die Anzahl der relaxierenden Dipole $\frac{dN}{dt}$ lässt sich auch als Zahl N der zum Zeitpunkt t pro Volumeneinheit orientierten Dipole darstellen, da es sich hier um einen thermisch aktivierten Prozess handelt. Mit der Relaxationsfrequenz $\frac{1}{\tau}$ als Proportionalitätsfaktor gilt:

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N}{\tau(T)}. \quad (6)$$

Diese Differentialgleichung lässt sich lösen mit:

$$N = N_p \exp \left(-\frac{1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')} \right). \quad (7)$$

Hierbei ist N_p die Anzahl der zu Beginn einer Aufheizung orientierten Dipole und b eine Heizrate. Mit den Gleichungen (4) bis (7) und der Relaxationsgleichung (1) folgt für die

Stromdichte:

$$j(T) = \frac{p^2 E N_p}{3kT_p \tau_0} \exp \left(-\frac{1}{b\tau_0} \int_{T_0}^T \exp \left(\frac{-W}{kT'} \right) dT' \right) \exp \left(\frac{-W}{kt} \right). \quad (8)$$

2 Aufbau und Durchführung

Der Aufbau der Apparatur ist in Abbildung 3 zu finden. Die Probe, Kaliumbromid mit 0.005% Mol Strontium, befindet sich im evakuierten Kondensator. Der Kondensator wird mit Gleichspannung versorgt und der Depolarisationsstrom mit einem Picoamperemeter gemessen. Die Probe wird über den Kühlfinger, mittels einer Heizstromversorgung, mit einer möglichst konstanten Heizrate geheizt. Durch Eintauchen des Kühlfingers in ein Behältnis mit flüssigem Stickstoff kann die Probe gekühlt werden. Ein Thermoelement dient zur Temperaturmessung.

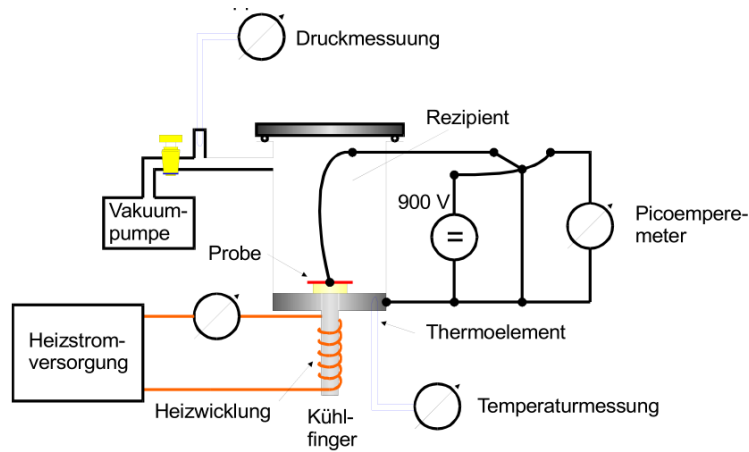


Abbildung 3: Aufbau der verwendeten Apparatur.[1]

Zu Beginn wird der Kondensator mit 900 V aufgeladen und die Probe auf 320K erhitzt. Beim Aufladen ist zu beachten, dass die Aufladezeit groß gegen die Relaxationszeit ist. Anschließend wird die Probe, durch Eintauchen des Kühlfingers in Stickstoff, auf 210K gekühlt. Das elektrische Feld wird nun abgestellt und der Kondensator zum Entladen kurzgeschlossen. Zur Messung des Polarisationsstroms wird die Probe erneut auf 320K erhitzt. Beim Erhitzen werden in Abständen von einer Minute Strom-Temperatur-Paare mit dem Picoamperemeter aufgenommen. Dieser Vorgang wird für zwei unterschiedliche Heizraten wiederholt.

3 Fehlerrechnung

Die Mittelwerte bestimmen sich in der Auswertung nach:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (9)$$

Für die Standardabweichung ergibt sich:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (v_j - \bar{v}_i)^2} \quad (10)$$

mit v_j mit $j = 1, \dots, n$ als Wert mit zufällig behafteten Fehlern.

Diese werden mit Hilfe von Numpy 1.9.2, einer Erweiterung von Python 3.2.0, berechnet. Die Fehlerfortpflanzung wird mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung berechnet (11).

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \Delta x_j \right)^2}. \quad (11)$$

Diese wird von der Erweiterung Uncertainties 2.4.6.1 von Python 3.2.0 übernommen. Desweiteren wird in der Auswertung Lineare Regression benutzt, um die Konstanten A und B aus einer Gleichung der Form

$$y(x) = A + B \cdot x \quad (12)$$

zu berechnen. B errechnet sich hierbei aus der Formel

$$B = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}. \quad (13)$$

und A durch die Gleichung

$$(14)$$

$$A = \bar{y} - B \cdot \bar{x}. \quad (15)$$

Die Ungenauigkeit von A und B ergibt sich aus der mittleren Streuung:

$$(16)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{N-2} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - A - B \cdot x_i)^2}. \quad (17)$$

Für die Ungenauigkeit von B gilt:

$$(18)$$

$$s_B = s_y \cdot \sqrt{\frac{1}{N \cdot (\overline{x^2} - (\bar{x})^2)}}. \quad (19)$$

Für die Ungenauigkeit von A gilt:

(20)

$$s_A = s_B \cdot \sqrt{x^2}. \quad (21)$$

Für die Lineare Regression wird die Erweiterung Scipy 0.15.1 für Python 3.2.0 benutzt. Abweichungen von den Theoriewerten werden mit der Formel

$$a = \frac{|a_{\text{gemessen}} - a_{\text{theorie}}|}{a_{\text{theorie}}} \quad (22)$$

berechnet.

4 Auswertung

4.1 Untergrund

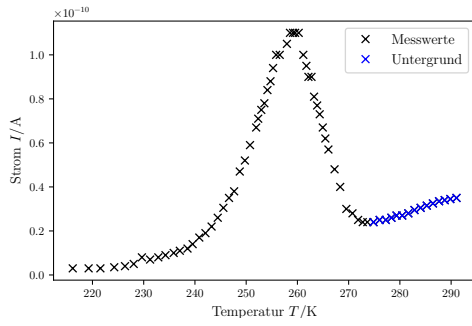
Um die Aktivierungsenergie W von der Probe zu bestimmen, müssen zunächst die Messwerte, die in der Tabelle 1 aufgelistet sind, für die unterschiedlichen Heizraten in der Form Temperatur gegen Depolarisationsstrom aufgetragen werden, zu sehen in der Abbildung 4.

Tabelle 1: Messwerte für die unterschiedlichen Heizraten.

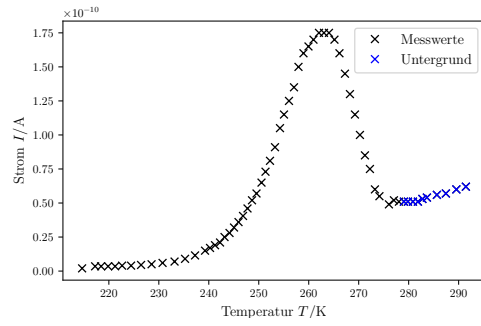
1. Messung mit Heizrate $1, 2\text{K min}^{-1}$		2. Messung mit Heizrate $2, 0\text{K min}^{-1}$	
Temperatur $T_1\text{K}$	Strom $I_1\text{pA}$	Temperatur $T_2\text{K}$	Strom $I_2\text{pA}$
216,15	3	214,65	2
219,25	3	217,25	3,5
221,55	3	218,45	3,5
224,25	3,5	219,85	3,5
226,35	4	221,25	3,5
228,05	5	222,65	4
229,65	8	224,45	4
231,25	7	226,45	4,5
232,85	8	228,55	5
234,25	9	230,75	6
235,85	10	233,15	7
237,05	11	235,25	9
238,55	12	237,25	11,5
239,55	14	239,25	15
240,85	17	240,25	17
242,05	19	241,25	19
243,25	22	242,25	21
244,45	26	243,15	25

1. Messung mit Heizrate $1,2\text{K min}^{-1}$		2. Messung mit Heizrate $2,0\text{K min}^{-1}$	
Temperatur $T_1\text{K}$	Strom $I_1\text{pA}$	Temperatur $T_2\text{K}$	Strom $I_2\text{pA}$
245,55	30,5	244,15	28
246,65	35	245,05	32
247,65	38	245,95	36
248,75	47	246,85	40,5
249,75	52	247,75	46
250,75	59	248,65	52
251,95	67	249,55	57
252,35	71	250,55	65
252,95	75	251,35	73
253,55	78	252,25	81
254,15	84	253,25	91
254,75	88	254,25	105
255,25	94	255,05	115
255,85	100	256,05	125
256,55	100	257,05	135
257,95	105	257,95	150
258,55	110	258,95	160
259,15	110	259,95	165
259,55	110	260,95	170
260,25	110	262,05	175
261,15	100	263,05	175
261,75	95	264,05	175
262,15	90	265,15	170
262,75	90	266,15	160
263,25	81	267,25	145
263,85	77	268,25	130
264,35	73	269,25	115
264,95	67	270,25	100
265,45	62	271,25	85
266,05	57	272,25	75
267,25	48	273,25	60
268,35	40	274,15	55
269,55	30	276,05	49
270,75	28	277,05	52
271,85	25	278,05	51
272,75	24	279,05	51
273,65	24	279,85	51
274,85	24	280,85	51
276,05	25	281,85	51
277,25	25	282,75	53
278,35	26	283,65	54

1. Messung mit Heizrate $1,2\text{K min}^{-1}$		2. Messung mit Heizrate $2,0\text{K min}^{-1}$	
Temperatur $T_1\text{K}$	Strom $I_1\text{pA}$	Temperatur $T_2\text{K}$	Strom $I_2\text{pA}$
279,35	27	285,65	56
280,45	27	287,45	57
281,65	28	289,55	60
282,85	29,5	291,45	62
284,05	30,5		
285,25	31,5		
286,45	32,5		
287,65	33,5		
288,75	34		
289,85	34,5		
291,05	35		



(a) 1. Messung mit der Heizrate $1,2\text{ K min}^{-1}$



(b) 2. Messung mit der Heizrate $2,0\text{ K min}^{-1}$.

Abbildung 4: Messwerte der beiden Messungen mit unterschiedlichen Heizraten.

In der Abbildung 4 sind bestimmte Messpunkte mit der Farbe Blau markiert, diese dienen zum Herausrechnen des Untergrundes bei den Messungen, indem eine lineare Regression auf diesen Messwerten durchgeführt wird.

$$m_1 = (7,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-13}$$

$$m_2 = (10,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-13}$$

$$b_1 = (-1.77 \pm 0,06) \cdot 10^{-10}$$

$$b_2 = (-2.45 \pm 0,14) \cdot 10^{-10}$$

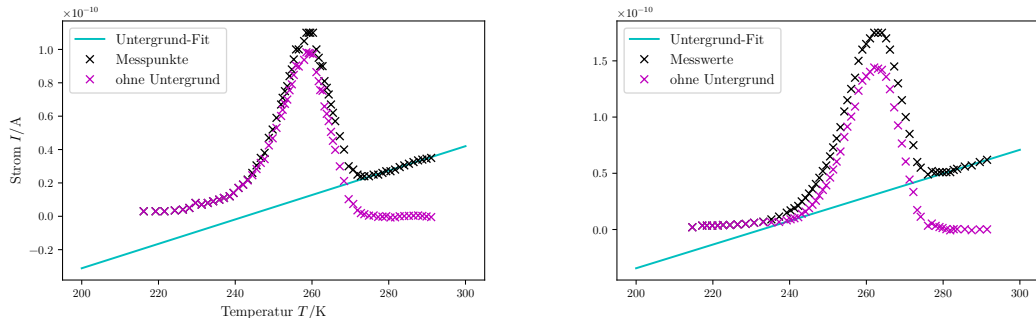
Der so berechnete Untergrund

$$I_{\text{Untergrund}} = (m_{\text{reg}} \cdot T_{\text{mess}} + b_{\text{reg}})$$

wird nun von den Messungen abgezogen, jedoch nur solange der berechnete Wert des Untergrundes positiv ist.

$$I_{\text{ohne}} = I_{\text{mess}} - I_{\text{Untergrund}} \quad (23)$$

In der Abbildung 5 sind die Ausgleichsgerade des Untergrundes sowie die Messwerte ohne Untergrund aufgetragen.



(a) 1. Messung mit der Heizrate 1,2 K min⁻¹ (b) 2. Messung mit der Heizrate 2,0 K min⁻¹.

Abbildung 5: Messwerte sowie die Messwerte ohne Untergrund und der berechnete Untergrund der beiden Messungen mit unterschiedlichen Heizraten.

4.2 Aktivierungsenergie

4.2.1 Näherungs-Methode

Nun kann die Aktivierungsenergie W berechnet werden. Bei der ersten Methode wird davon ausgegangen, dass am Anfangsteil der Depolarisationskurve das Integral in der Gleichung (8) ungefähr gleich Null ist, folglich gilt dort die Näherung:

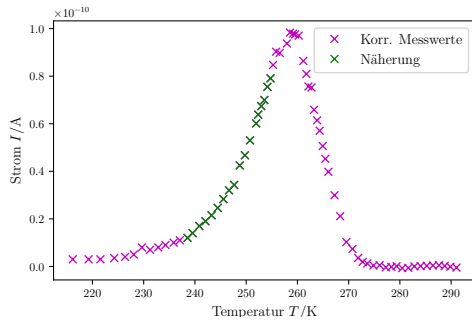
$$j(T) = \frac{p^2 E N_p}{3kT_p \tau_0} \exp\left(\frac{-W}{kt}\right). \quad (24)$$

Die Messwerte, für die diese Näherung gilt, sind in den Abbildung 6 Grün markiert und werden in der Form $\ln I$ gegen $\frac{1}{T}$ in dem Diagramm 7 aufgetragen und sind ebenfalls in der Tabelle 2 zu finden.

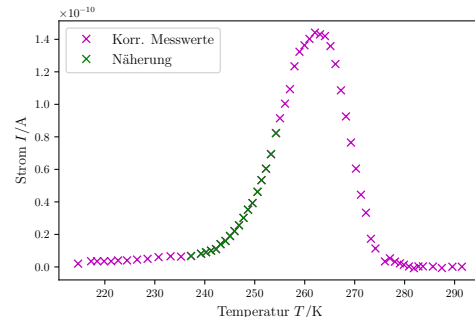
Tabelle 2: Aus den Messwerte berechneten Größen, die in dem Diagramm 7 aufgetragen sind.

1. Messung mit Heizrate 1,2K min ⁻¹		2. Messung mit Heizrate 2,0K min ⁻¹	
$1/T \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$	$1/T \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$
4,63	-26,5	4,66	-26,9
4,56	-26,5	4,60	-26,4
4,51	-26,5	4,58	-26,4
4,46	-26,4	4,55	-26,4
4,42	-26,2	4,52	-26,4
4,39	-26	4,49	-26,2
4,35	-25,6	4,46	-26,2
4,32	-25,7	4,42	-26,1
4,29	-25,6	4,38	-26,0
4,27	-25,4	4,33	-25,8
4,24	-25,3	4,29	-25,8

1. Messung mit Heizrate $1,2\text{K min}^{-1}$			2. Messung mit Heizrate $2,0\text{K min}^{-1}$		
$1/T$	$\text{K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$	$1/T$	$\text{K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$
4,22		-25,2	4,25		-25,8
4,19		-25,1	4,21		-25,7
4,17		-25	4,18		-25,5
4,15		-24,8	4,16		-25,4
4,13		-24,7	4,15		-25,3
4,11		-24,6	4,13		-25,2
4,09		-24,4	4,11		-25,0
4,07		-24,3	4,10		-24,9
4,05		-24,2	4,08		-24,7
4,04		-24,1	4,07		-24,5
4,02		-23,9	4,05		-24,4
4,00		-23,8	4,04		-24,2
3,99		-23,7	4,02		-24,1
3,97		-23,5	4,01		-24,0
3,96		-23,5	3,99		-23,8
3,95		-23,4	3,98		-23,7
3,94		-23,4	3,96		-23,5
3,93		-23,3	3,95		-23,4
3,93		-23,3	3,93		-23,2

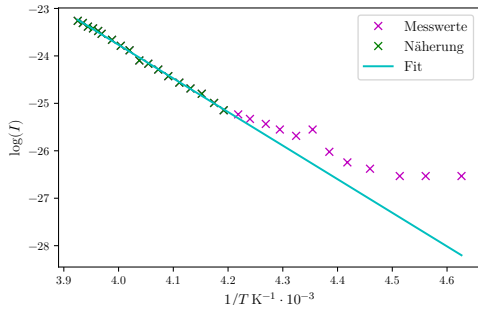


(a) 1. Messung mit der Heizrate $1,2\text{ K min}^{-1}$

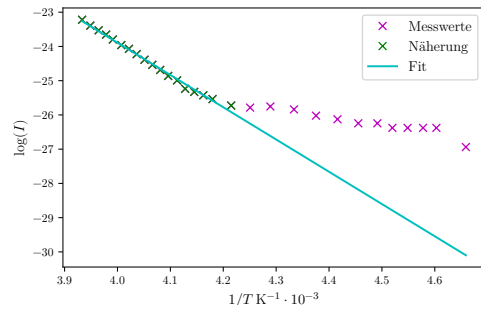


(b) 2. Messung mit der Heizrate $2,0\text{ K min}^{-1}$.

Abbildung 6: Messwerte ohne Untergrund mit markierten Werten für welche die Näherung 24 gilt.



(a) 1. Messung mit der Heizrate 1,2 K min⁻¹



(b) 2. Messung mit der Heizrate 2,0 K min⁻¹.

Abbildung 7: Messwerte für welche die Näherung 24 gilt und eine lineare Regression durch eben diese.

Durch eine lineare Regression mit den Werten, die in der Abbildung 7 dargestellt sind, können m und b aus (25) berechnet werden. Dabei kommt die Gleichung (25) durch Umformen der Formel 24 zustande.

$$\underbrace{\ln(I(1/T))}_{y(x)} \approx \underbrace{-\frac{W}{k}}_m \cdot \underbrace{\frac{1}{T}}_x + \underbrace{\ln\left(\frac{p^2 E}{3kT_p} \frac{N_p}{\tau_0}\right)}_b. \quad (25)$$

Die Aktivierungsenergie W kann somit über

$$W = -k \cdot m \quad (26)$$

berechnet werden. Aus den linearen Regressionen folgen:

$$\begin{aligned} m_1 &= -(7,08 \pm 0,07) \cdot 10^3 \text{ K} & b_1 &= -(4,5 \pm 0,3) \\ m_2 &= -(9,42 \pm 0,20) \cdot 10^3 \text{ K} & b_2 &= -(13,8 \pm 0,3). \end{aligned}$$

Somit ergeben sich nach Formel (26) die Aktivierungsenergien:

$$\begin{aligned} W_1 &= (0,610 \pm 0,006) \text{ eV} \\ W_2 &= (0,812 \pm 0,017) \text{ eV}. \end{aligned}$$

4.2.2 Integral-Methode

Die Aktivierungsenergie kann ebenfalls durch den Zusammenhang (27)

$$\frac{W}{kT} + \ln(const) = \ln \frac{\int_T^{T^*} I(T') dT'}{I(T)} \quad (27)$$

berechnet werden.

Nun wird $\frac{1}{T}$ gegen

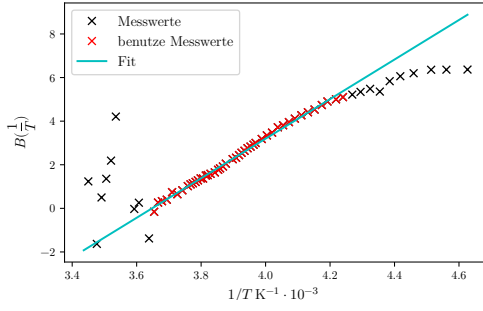
$$\ln \int_T^{T^*} I(T') dT' \frac{1}{I(T)} = B\left(\frac{1}{T}\right) \quad (28)$$

aufgetragen und eine lineare Regression auf den Messwerten, die in der Tabelle 3 aufgelistet sind, durchgeführt, zu sehen in der Abbildung 8. Die lineare Regression vernachlässigt die Wertpaare, die zum Berechnen der Untergrundes genutzt werden, da diese zu starke Schwankungen aufweisen. Dabei ist T^* eine feste Temperatur mit $I(T^*) \approx 0$. Das Integral in der Formel 28 von T bis T^* wird mit der Funktion `trapez` aus der Python Bibliothek `scipy.integrate` berechnet.

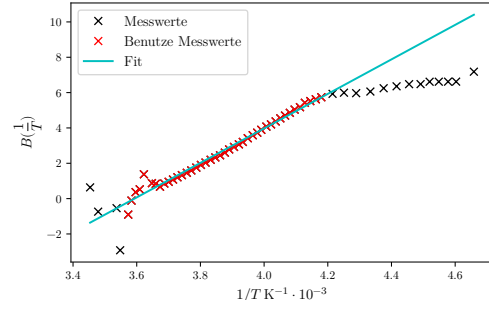
Tabelle 3: Aus den Messwerte berechneten Größen die in dem Diagramm 8 aufgetragen sind,

1. Messung mit Heizrate $1,2 \text{ K min}^{-1}$		2. Messung mit Heizrate $2,0 \text{ K min}^{-1}$	
$1/T \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$	$1/T \text{ K}^{-1} \cdot 10^{-3}$	$\log(I)$
4,63	6,37	4,66	7,18
4,56	6,36	4,60	6,62
4,51	6,36	4,58	6,62
4,46	6,20	4,55	6,62
4,42	6,06	4,52	6,62
4,39	5,83	4,49	6,48
4,35	5,36	4,46	6,48
4,32	5,48	4,42	6,36
4,29	5,34	4,38	6,25
4,27	5,22	4,33	6,06
4,24	5,10	4,29	5,97
4,22	5,00	4,25	6,00
4,19	4,90	4,21	5,93
4,17	4,74	4,18	5,74
4,15	4,53	4,16	5,62
4,13	4,41	4,15	5,52
4,11	4,27	4,13	5,42
4,09	4,12	4,11	5,17
4,07	3,96	4,10	5,04
4,05	3,81	4,08	4,86
4,04	3,72	4,07	4,70
4,02	3,47	4,05	4,54
4,00	3,35	4,04	4,37
3,99	3,18	4,02	4,20
3,97	3,00	4,01	4,08
3,96	2,92	3,99	3,9
3,95	2,83	3,98	3,73

1. Messung mit Heizrate 1,2K min ⁻¹		2. Messung mit Heizrate 2,0K min ⁻¹	
$1/T$ K ⁻¹ · 10 ⁻³	$B(\frac{1}{T})$	$1/T$ K ⁻¹ · 10 ⁻³	$B(\frac{1}{T})$
3,94	2,76	3,96	3,59
3,93	2,64	3,95	3,42
3,93	2,55	3,93	3,21
3,92	2,44	3,92	3,07
3,91	2,32	3,91	2,93
3,90	2,26	3,89	2,78
3,88	2,05	3,88	2,6
3,87	1,92	3,86	2,45
3,86	1,83	3,85	2,33
3,85	1,77	3,83	2,2
3,84	1,65	3,82	2,04
3,83	1,59	3,80	1,91
3,82	1,52	3,79	1,76
3,81	1,50	3,77	1,59
3,81	1,37	3,76	1,46
3,80	1,37	3,74	1,33
3,79	1,28	3,73	1,21
3,78	1,21	3,71	1,08
3,77	1,15	3,70	0,95
3,77	1,10	3,69	0,85
3,76	1,02	3,67	0,67
3,74	0,83	3,66	0,84
3,73	0,65	3,65	0,88
3,71	0,74	3,62	1,38
3,69	0,40	3,61	0,52
3,68	0,33	3,60	0,37
3,67	0,27	3,58	-0,11
3,65	-0,16	3,57	-0,90



(a) 1. Messung mit der Heizrate 1,2 K min⁻¹



(b) 2. Messung mit der Heizrate 2,0 K min⁻¹.

Abbildung 8: Lineare Regression um W aus dem gesamten Kurvenverlauf zu bestimmen.

Aus den linearen Regressionen folgt diesmal:

$$\begin{aligned} m_1 &= (9,07 \pm 0,09) \cdot 10^3 & b_1 &= -(0,3 \pm 0,9) \cdot 10^2 \\ m_2 &= (9,76 \pm 0,22) \cdot 10^3 & b_2 &= -(0,4 \pm 2,2) \cdot 10^2. \end{aligned}$$

Somit ergeben sich aus der Formel (27) die Aktivierungsenergien:

$$\begin{aligned} W_1 &= (0,782 \pm 0,008) \text{ eV} \\ W_2 &= (0,841 \pm 0,019) \text{ eV}. \end{aligned}$$

4.3 Charakteristische Relaxationszeit

Durch Differentiation der Gleichung (8) ergibt sich der Zusammenhang (29) zwischen T_{\max} und der charakteristischen Relaxationszeit τ_0 .

$$\tau_0 = \frac{kT_{\max}^2}{bW} \exp\left(-\frac{W}{kT_{\max}}\right). \quad (29)$$

Somit ergibt sich für die erste Messung, mit der Heizrate

$$b = 1,2 \text{ K min}^{-1}$$

sowie der aus den Messwerten bestimmten Größe

$$T_{\max} = (258 \pm 1) \text{ K}$$

und den zwei unterschiedlich berechneten Aktivierungsenergien,

$$\begin{aligned} \tau_{0_1}^{\text{Näherung}} &= (5,6 \pm 1,7) \cdot 10^{-10} \text{ s} \\ \tau_{0_1}^{\text{Integral}} &= (1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-13} \text{ s}. \end{aligned}$$

Für die zweite Messung, mit

$$b = 2 \text{ K min}^{-1}$$

und

$$T_{\text{max}} = (263 \pm 1) \text{ K},$$

folgt

$$\begin{aligned}\tau_{0_2}^{\text{Näherung}} &= (6,0 \pm 5,0) \cdot 10^{-14} \text{ s} \\ \tau_{0_2}^{\text{Integral}} &= (1,6 \pm 1,4) \cdot 10^{-14} \text{ s}.\end{aligned}$$

5 Diskussion

Die Bestimmung der Aktivierungsenergie W aus den zwei Messungen, mit Hilfe der zwei Methoden 4.2.1 und 4.2.2, liefert die folgenden Ergebnisse mit den Abweichungen zu dem Literaturwert:

$$W_{\text{Lit}} = 0,66 \text{ eV}[2].$$

Näherungs-Methode:

$$\begin{aligned}W_1 &= (0,610 \pm 0,006) \text{ eV} & a &= 0,075 \pm 0,009 \\ W_2 &= (0,812 \pm 0,017) \text{ eV} & a &= 0,230 \pm 0,026.\end{aligned}$$

Integral-Methode:

$$\begin{aligned}W_1 &= (0,782 \pm 0,008) \text{ eV} & a &= 0,185 \pm 0,012 \\ W_2 &= (0,841 \pm 0,019) \text{ eV} & a &= 0,275 \pm 0,028.\end{aligned}$$

Dabei liefert die Nahrungs-Methode bei beiden Messung einen genaueren Wert als die Integral-Methode. Folglich lässt sich die Behauptung aus [1], dass sich W genauer aus dem gesamten Kurvenverlauf ermitteln lässt, aus den Ergebnissen nicht bestätigen. Desweiteren wird aus den bestimmten Aktivierungsenergien W die charakteristische Relaxationszeit τ_0 berechnet 4.3. Der Literaturwert für τ_0 ist

$$\tau_{\text{Lit}} = 4 \cdot 10^{-14} \text{ s}[2].$$

Die Ergebnisse und Abweichungen für τ_0 sind:

$$\begin{aligned}\tau_{0_1}^{\text{Näherung}} &= (5,6 \pm 1,7) \cdot 10^{-10} \text{ s} & a &= (1,4 \pm 0,4) \cdot 10^4 \\ \tau_{0_2}^{\text{Näherung}} &= (6,0 \pm 5,0) \cdot 10^{-14} \text{ s} & a &= 3,9 \pm 11,9 \\ \tau_{0_1}^{\text{Integral}} &= (1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-13} \text{ s} & a &= 0,5 \pm 1,2 \\ \tau_{0_2}^{\text{Integral}} &= (1,6 \pm 1,4) \cdot 10^{-14} \text{ s} & a &= 0,60 \pm 0,34.\end{aligned}$$

Diese Ergebnisse sind jedoch nicht aussagekräftig, da die Fehler für τ_0 in derselben Größenordnung wie die bestimmten Werte liegen und die Abweichungen zum Literaturwerte zu groß sind.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 48 Dipolrelaxation in Ionenkristallen*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/V48.pdf> (besucht am 11.05.2017).
- [2] R.Muccillo und J.Rolfe. *Effect of Irradiation on Impurity-Vacancy Dipoles in KBr Crystals Doped with Strontium*. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pssb.2220610223/pdf> (besucht am 24.05.2017).