

# Thermodynamik

Gruppe C14

Julián Häck, Martin Koytek, Lars Wenning, Erik Zimmermann

6. September 2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsbeschreibung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Rauschmessung - Vorversuch</b>	<b>4</b>
2.1	Rauschmessung der Temperatursensoren . . . . .	4
2.2	Rauschmessung der Drucksensoren . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Kalibrierung des Temperatursensors - Vorversuch</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Kalibrierung des Drucks - Vorversuch</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Dichtigkeitsmessung - Vorversuch</b>	<b>12</b>
5.1	Versuchsbeschreibung . . . . .	12
5.2	Versuchsaufbau und Durchführung . . . . .	12
5.3	Versuchsauswertung . . . . .	12
5.3.1	Rohdaten . . . . .	12
5.3.2	Transformation und Analyse der Rohdaten . . . . .	13
5.3.3	Fazit . . . . .	14
<b>6</b>	<b>Bestimmung der Verdampfungsenthalpie von Wasser</b>	<b>15</b>
6.1	Versuchsaufbau und Durchführung . . . . .	15
6.2	Versuchsauswertung . . . . .	16
6.2.1	Rohdaten . . . . .	16
6.2.2	Transformation der Rohdaten/Analyse . . . . .	16
6.2.3	Fazit . . . . .	20
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>21</b>

# 1 Versuchsbeschreibung

Zur Bestimmung der Verdampfungsenthalpie wird die Verdampfungswärme in einem isochoren Prozess bestimmt, wodurch die Volumenarbeit verschwindet. Somit ist die Verdampfungsenthalpie gleich der Verdampfungswärme. Grundlegend für den Versuch ist die Clausius-Clapeyronschen Gleichung:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\nu\Lambda}{T(V_1 - V_2)} \quad (1)$$

mit der Stoffmenge  $\nu$ , der Verdampfungswärme  $\Lambda$  und der Differenz der Volumen (Gas, Flüssigkeit). Unter der Annahme, dass das Gasvolumen von Wasserdampf deutlich größer (Faktor 1200) ist, als das Volumen von Wasser (flüssig), ergibt sich die DGL zu

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\nu\Lambda}{T \cdot V_{gas}}$$

Mit der Näherung des idealen Gases ( $p \cdot V = \nu RT$ ) lässt sich die DGL lösen:

$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{\Lambda}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \quad (2)$$

bzw.

$$\ln(p) = -\frac{\Lambda}{R} \cdot \frac{1}{T} + c \text{ mit } c = \text{const} \quad (3)$$

Nun wird der Druck und die Temperatur des Wasserdampfes beim Abkühlen gemessen und anschließend  $\ln(p)$  gegen  $\frac{1}{T}$  aufgetragen. Die Steigung ergibt sich dann zu  $-\frac{\Lambda}{R}$  aus der dann die Verdampfungswärme  $\Lambda$  bestimmt wird.

## 2 Rauschmessung - Vorversuch

Als Vorversuch zur Messung der Dampfdruckkurve muss zunächst das Rauschen der Temperatursensoren und der Drucksensoren vermessen werden. Das Rauschen pflanzt sich als statistischer Fehler auf die Hauptmessung fort. Dazu wurden in Cassy folgende Messwertfassungseinstellungen vorgenommen:

Tabelle 1: Messparameter		
	Gruppe 1	Gruppe 2
Intervall	50ms	20ms
Anzahl	2000	5000
Messzeit	100s	100s

### 2.1 Rauschmessung der Temperatursensoren

Die Temperatur wurde bei möglichst konstanter Temperatur und konstantem Druck gemessen. Die so ermittelten Temperaturschwankungen sind folglich hauptsächlich auf ein Rauschen der Sensoren zurückzuführen. Beide Gruppen haben eine Rauschmessung bei Zimmertemperatur im abgeschlossenen Behälter durchgeführt.

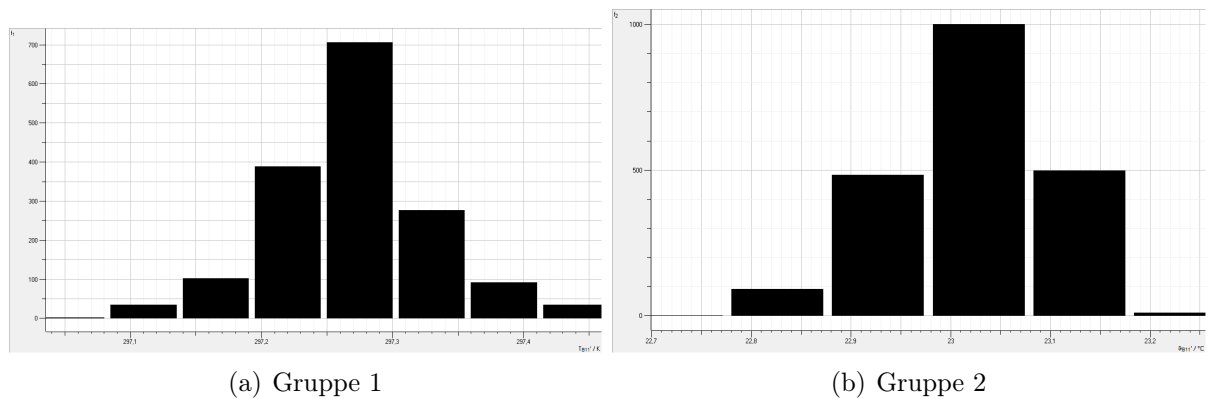


Abbildung 1: Rauschmessung der Temperatur bei Zimmertemperatur

Tabelle 2: Rauschmessung der Temperatur bei Zimmertemperatur

	Gruppe 1	Gruppe 2
$T_M$ in K	297.26	296.17
$\sigma_T$ in K	0.054	0.069

Diese Fehler auf die Einzelwerte der Temperatur wurden später als statistische Fehler bei der Hauptmessung verwendet.

### 2.2 Rauschmessung der Drucksensoren

Die Rauschmessung der Drucksensoren wurde jeweils simultan mit der Rauschmessung der Temperatursensoren durchgeführt.

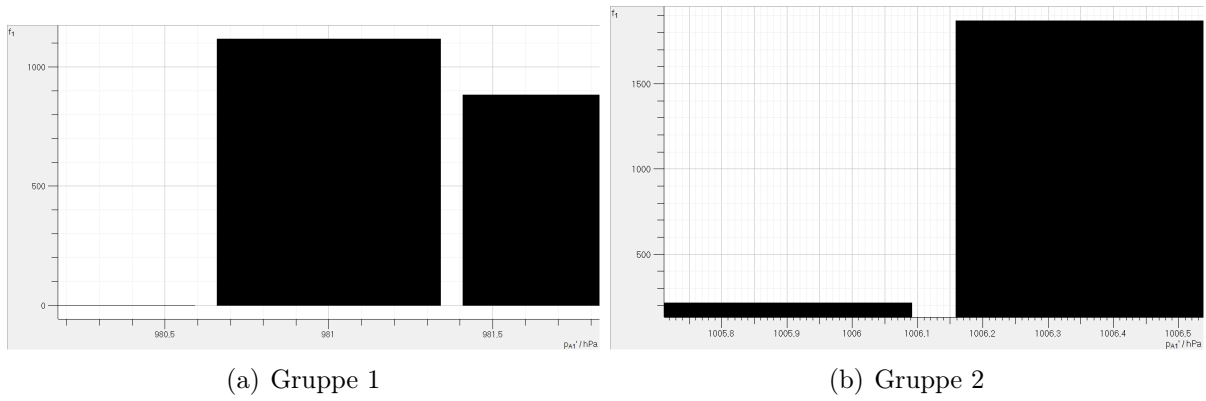


Abbildung 2: Rauschmessung des Drucks bei Zimmertemperatur

Tabelle 3: Rauschmessung des Drucks bei Zimmertemperatur

	Gruppe 1	Gruppe 2
$P_M$ in hPa	981.443	1006.265
$\sigma_P$ in hPa	0.370	0.348

Diese Fehler auf die Einzelwerte des Drucks wurden später als statistische Fehler bei der Hauptmessung und bei der Vermessung der Dichtigkeit verwendet.

### 3 Kalibrierung des Temperatursensors - Vorversuch

Da wir bei der Hauptmessung einen Temperatursensor verwenden und nicht genau wissen, ob die angezeigte Temperatur am Cassy auch der tatsächlichen Temperatur entspricht, bestimmen wir in diesem Versuch den systematischen Fehler durch die Kalibrierung des Temperatursensors.

Beide Gruppen haben für die Kalibrierung des Temperatursensors eine Rauschmessung mit Eiswasser in einem offenen Behälter durchgeführt.

Bevor die tatsächliche Hauptmessung (Abkühlung) gemessen werden konnte, musste das Wasser zunächst auf Siedetemperatur erhitzt werden. Diese Temperatur ist sehr konstant und ist also gut geeignet, um ein Rauschen zu messen und damit die Temperatursensoren zu kalibrieren.

Leider hat Gruppe 1 ihre Rauschmessung bei Siedetemperatur auf Geheiß eines Tutors verworfen „for your eyes only“. Deshalb mussten wir hier allein auf die Messdaten von Gruppe 2 zurückgreifen.

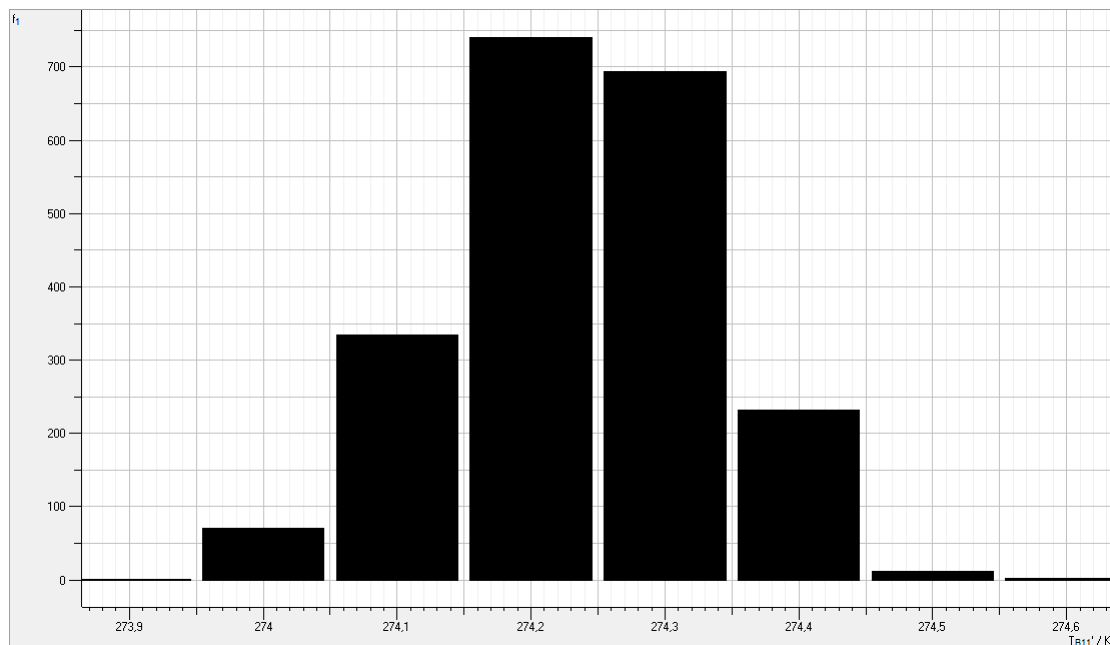


Abbildung 3: Rauschmessung bei Eiswasser

Tabelle 4: Rauschmessung der Temperatur beim Gefrierpunkt

$T_M$ in K	274.277
$\sigma_T$ in K	0.103
$\sigma_{T_M}$ in K	0.002
$T_{Theo}$	272.2

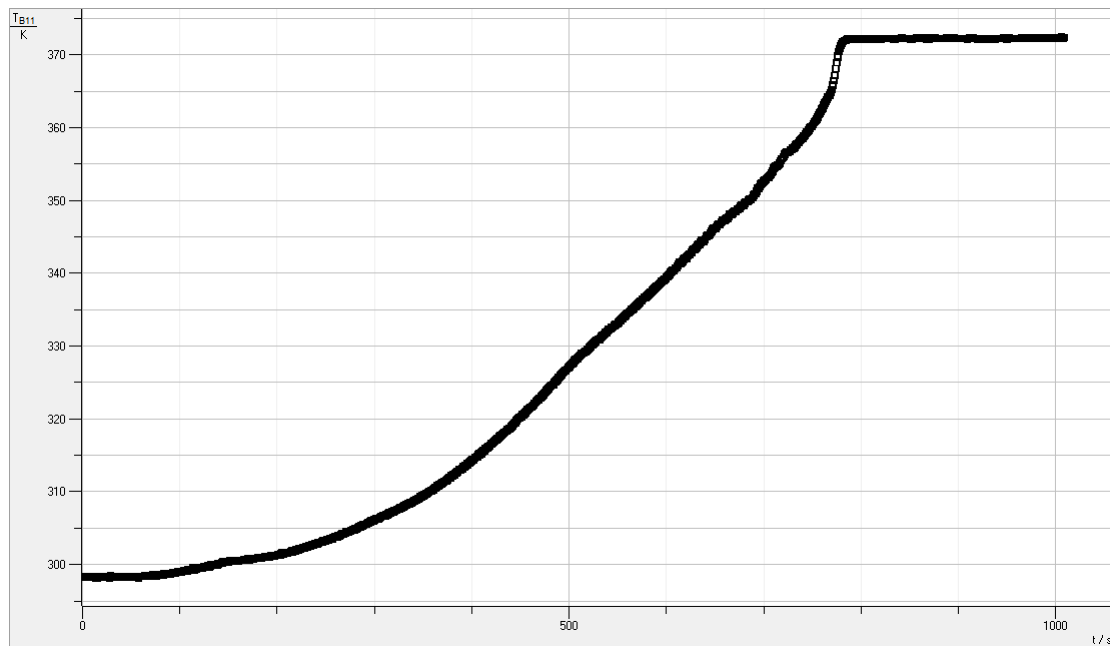


Abbildung 4: Heizvorgang. Die Siedetemperatur ist erreicht, wenn die Kurve abflacht.

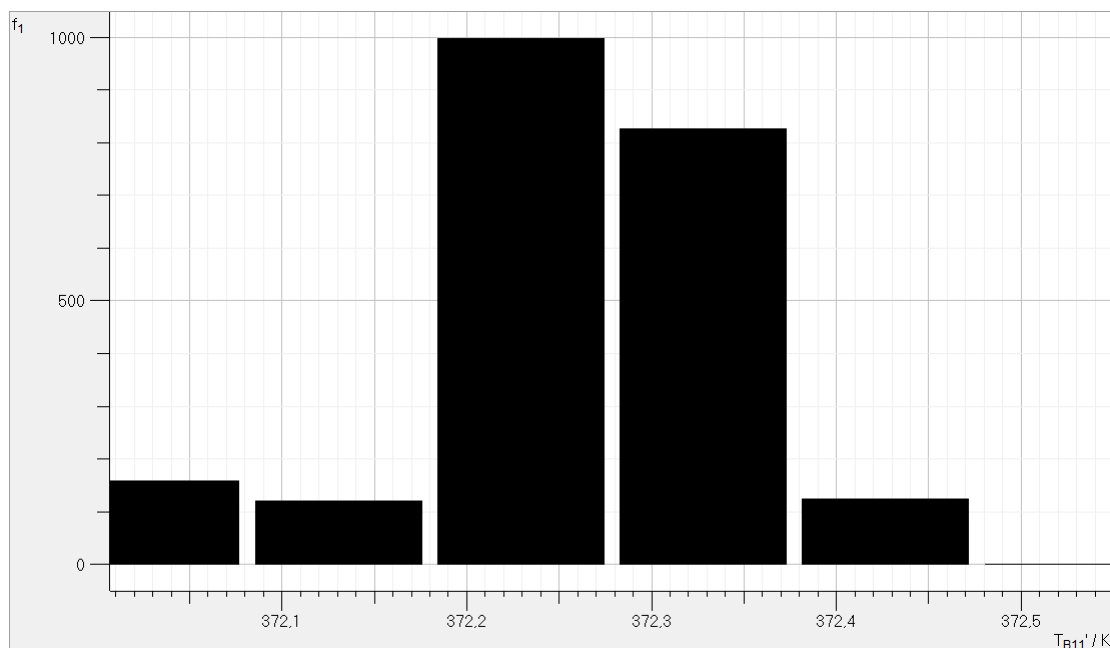


Abbildung 5: Kalibrierung bei Siedetemperatur.

Tabelle 5: Rauschmessung der Temperatur beim Siedepunkt.

$T_M$ in K	372.227
$\sigma_T$ in K	0.083
$\sigma_{T_M}$ in K	0.002
$T_{Theo}$ in K	372.5

Der theoretische Wert für die Siedetemperatur ergibt sich aus dem Druck. Gemessen hat das Cassy bei Normalbedingungen im Labor einen Wert von:  $p_C = 1006.5\text{hPa}$ . Die Wetterstation gab allerdings einen Wert von  $p_W = 984\text{hPa}$  an. Also eine Differenz von

22.5 hPa. Beim Sieden haben wir einen Druck von  $1015 \text{ hPa}$  gemessen. Mit der Korrektur von der Wetterstation ergibt sich also ein Druck von  $p_{siede} = 992.5 \text{ hPa}$ . Bei diesem Druck ist eine Siedetemperatur von  $99.4^\circ \text{ C}$  zu erwarten, also  $372.5 \text{ K}$ .

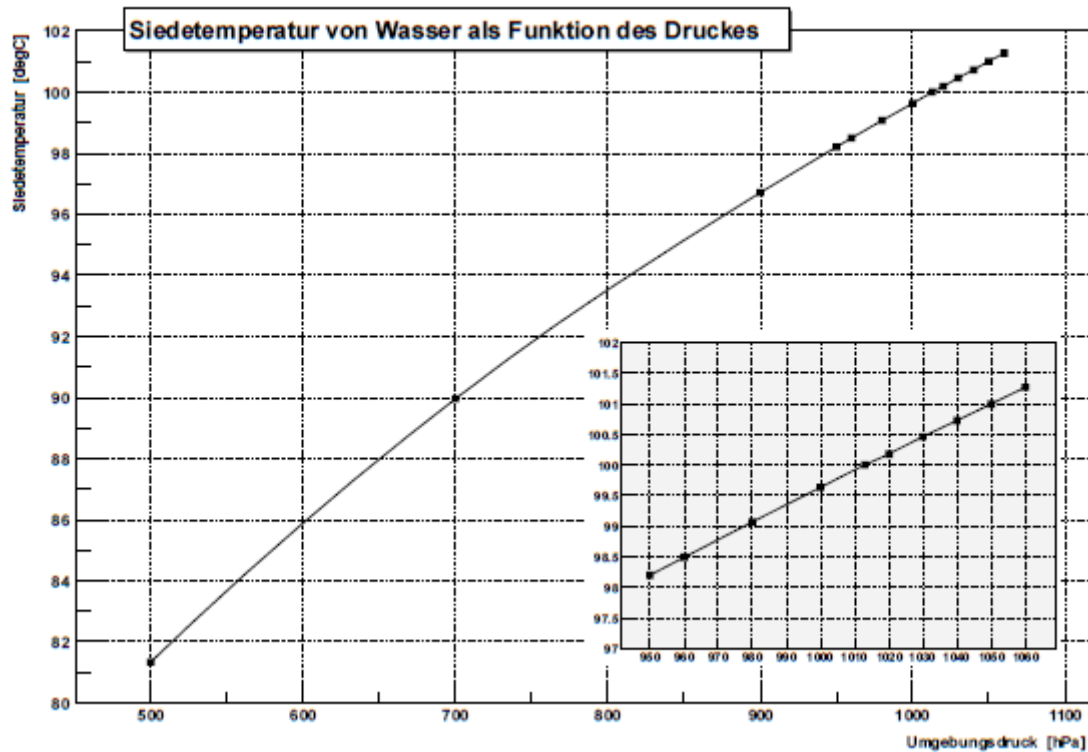


Abbildung 6: Grafik aus dem Skript. Bei  $992.5 \text{ hPa}$  ist die Siedetemperatur  $99.4^\circ \text{ C}$ .

Um nun von den von Cassy gemessenen Werte  $T_C$  mit Fehlern  $\sigma_{T_M}$  auf die realen Werte  $T_R$  und ihre Fehler  $\sigma_{T_R}$  zu kommen trägt man die theoretischen Werte gegen die gemessenen auf. Aus der Steigung und dem y-Achsen-Abschnitt ließe sich dann eine Umrechnung bestimmen.

$$T_R = aT_C + b \quad (4)$$

Hätte man eine solche Formel könnte man durch Fehlerfortpflanzung den Fehler auf den realen Messwert berechnen.

$$\sigma_{T_R} = \sqrt{(T_C \sigma_a)^2 + \sigma_b^2} \quad (5)$$

Haben wir diesen Fehler können wir berechnen wie sich dieser dann auf die Werte der Hauptmessung niederschlägt und daraus die systematischen Fehler durch die Temperaturkalibrierung bestimmen.

$$\sigma_{\lambda_T} = \frac{\sigma_T}{T} \cdot \Lambda \quad (6)$$

Über eine Lineare Regression durch  $T_{Schmelz}$  und  $T_{Siede}$  mit ihren Fehlern legt kann man eine solche gesuchte Funktion finden. Damit die Werte beim Aufrufen von  $T_R$  gegen  $T_C$  für Steigung und Y-Achsenabschnitt möglichst unkorreliert sind, verschieben wir die Y-Achse um den Mittelwert von Siedetemperatur und Schmelztemperatur.

$$\bar{T} = \frac{T_{Schmelz} + T_{siede}}{2} \quad (7)$$



Die theoretischen Werte (y-Werte) sind also nicht fehlerbehaftet,  $T_{Schmelz}$  und  $T_{Siede}$  (x-Werte) allerdings schon. Leider haben wir in der Praktikumsbibliothek nur eine Funktion gefunden, die entweder Fehler auf beide Achsen akzeptiert oder nur Fehler auf y. Deshalb haben wir die Gleichung invertiert und die so gefundene Steigung und Y-Achsenabschnitt in die eigentlich Gesuchten umgeformt. Die eigentliche Gleichung wäre:

$$T_R = a_1(T_C - \bar{T}) + b_1 \quad (8)$$

Die von uns zunächst bestimmte Gleichung ist:

$$(T_C - \bar{T}) = a_2 T_R + b_2 \quad (9)$$

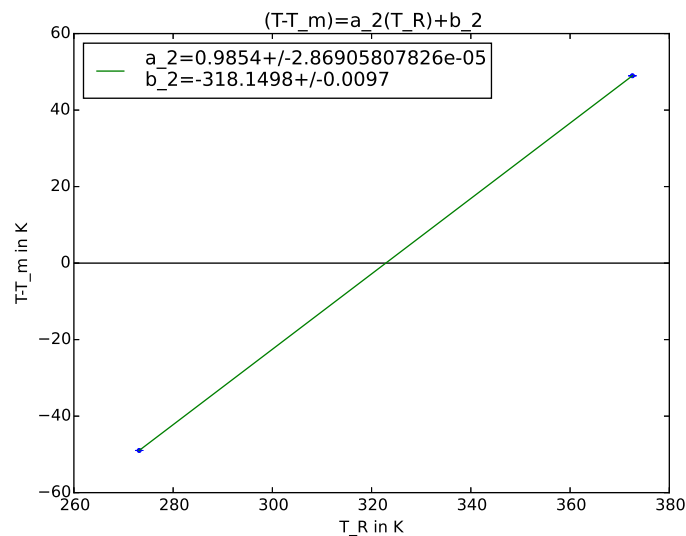


Abbildung 7: Lineare Regression zur Kalibrierung des Temperatursensors

$$a_2 = 0.985, \quad \sigma_{a_2} = 2.870 \cdot 10^{-5} \quad (10)$$

$$b_2 = -318.150K, \quad \sigma_{b_2} = 0.010K \quad (11)$$

Da die zweite Gleichung die invertierte der ersten ist, gilt, dass der X-Achsenabschnitt der einen dem Y-Achsenabschnitt der anderen Gleichung entspricht, und dass die eine Steigung die Inverse der anderen Steigung ist.

$$a_1 = \frac{1}{a_2}, \quad \sigma_{a_1} = \frac{\sigma_{a_2}}{a_2^2} \quad (12)$$

$$b_1 = -\frac{b_2}{a_2}, \quad \sigma_{b_1} = b_1 \sqrt{\left(\frac{\sigma_{b_2}}{b_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{a_2}}{a_2}\right)^2} \quad (13)$$

Es gilt also:

$$a_1 = 1.015, \quad \sigma_{a_1} = 2.955 \cdot 10^{-5} \quad (14)$$

$$b_1 = 322.86K, \quad \sigma_{b_1} = 0.013K \quad (15)$$

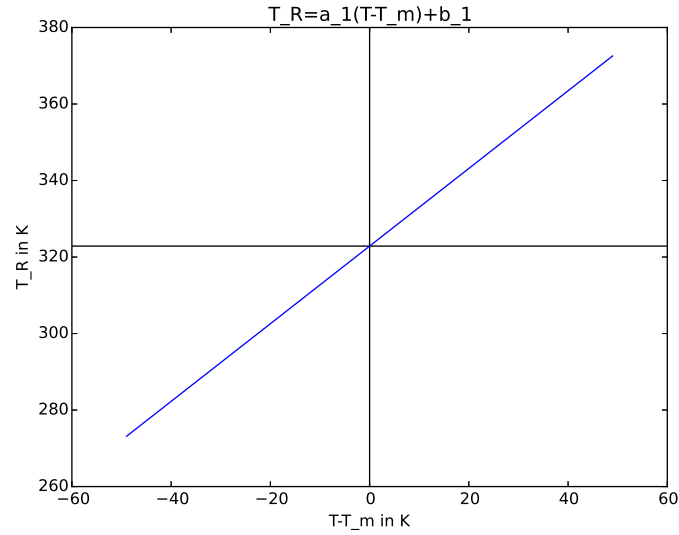


Abbildung 8: Funktion zur Kalibrierung

Wir haben nun alle Werte um den systematischen Fehler durch die Temperaturkalibrierung und damit den systematischen Fehler auf  $\Lambda$  zu bestimmen.

$$\sigma_{T_R} = \sqrt{((T_C - \bar{T})\sigma_a)^2 + \sigma_b^2} = 0.0137 \quad (16)$$

$$\sigma_{\lambda_T} = \frac{\sigma_T}{T} \cdot \Lambda = \sigma_{Kalibration} \quad (17)$$

Aus den Herstellerangaben ergaben sich weitere systematische Fehler.

Tabelle 6: Systematische Fehler aus Herstellerangaben: Druck

Linearitätsfehler	$\pm 1\%$
Sensor	$\pm 1\%$
Verstärkungsfehler	$\pm 1\%$

Tabelle 7: Systematische Fehler aus Herstellerangaben: Temperatur

Sensor	$\pm 2.5K$
Konverter	$\pm 1\%$

Diese pflanzen sich wie folgt fort.

$$\sigma_{\Lambda, T} = \frac{\sigma_T}{T} \Lambda \quad (18)$$

$$\sigma_{\Lambda, p} = RT \frac{\sigma_p}{p} \quad (19)$$

Tabelle 8: Systematische Fehler Gruppe 1

	$\sigma_{Hersteller}$	$\sigma_{Kalibration}$	$\sigma_{Gesamt}$
$\Lambda_0$	0.513	0.002	0.513
$\Lambda_1$	0.519	0.002	0.519
$\Lambda_2$	0.534	0.002	0.534
$\Lambda_3$	0.515	0.002	0.515
$\Lambda_4$	0.526	0.002	0.526
$\Lambda_5$	0.537	0.002	0.537
$\Lambda_6$	0.532	0.002	0.532
$\Lambda_7$	0.53	0.002	0.53
$\Lambda_8$	0.513	0.002	0.513
$\Lambda_9$	0.547	0.002	0.547
$\Lambda_{10}$	0.517	0.002	0.517
$\Lambda_{11}$	0.514	0.002	0.514
$\Lambda_{12}$	0.535	0.002	0.535
$\Lambda_{13}$	0.563	0.002	0.563
$\Lambda_{14}$	0.499	0.002	0.499
$\Lambda_{15}$	0.506	0.002	0.506
$\Lambda_{16}$	0.521	0.002	0.521
$\Lambda_{17}$	0.488	0.002	0.488
$\Lambda_{18}$	0.528	0.002	0.528
$\Lambda_{19}$	0.458	0.001	0.458
$\Lambda_{20}$	0.468	0.001	0.468

Tabelle 9: Systematische Fehler Gruppe 2

	$\sigma_{Hersteller}$	$\sigma_{Kalibration}$	$\sigma_{Gesamt}$
$\Lambda_0$	0.518	0.002	0.518
$\Lambda_1$	0.508	0.002	0.508
$\Lambda_2$	0.518	0.002	0.518
$\Lambda_3$	0.508	0.002	0.508
$\Lambda_4$	0.519	0.002	0.519
$\Lambda_5$	0.525	0.002	0.525
$\Lambda_6$	0.527	0.002	0.527
$\Lambda_7$	0.537	0.002	0.537
$\Lambda_8$	0.535	0.002	0.535
$\Lambda_9$	0.512	0.002	0.512

## 4 Kalibrierung des Drucks - Vorversuch

Bei Zimmertemperatur haben beide Gruppen ihren Drucksensor kalibriert, indem der bei der Rauschmessung des Drucks gemessene Wert mit dem Wert der Wetterstation verglichen wurde.

	$p_{Cassy}$	$p_{Wetterstation}$	$\Delta p$
Gruppe 1	981.54 hPa	985 hPa	3.46 hPa
Gruppe 2	1006.5 hPa	984 hPa	22.5 hPa

Diese Abweichungen fallen bei der Hauptmessung allerdings nicht ins Gewicht, weil sie lediglich den Offset erhöhen würden aber nicht die Steigung verändern.

## 5 Dichtigkeitsmessung - Vorversuch

### 5.1 Versuchsbeschreibung

Wir vermessen die Dichtigkeit unserer im Hauptversuch verwendeten Apparatur mit Hilfe des Drucksensors und einer Handpumpe, in dem wir einen für den Hauptversuch typischen Unterdruck erzeugen ( $\approx 300$  hPa) und die Leckrate messen. Wir tragen die Werte für den Druck gegen die Zeit auf und ermitteln die Leckrate (in  $\frac{\text{hPa}}{\text{min}}$ ) mittels einer Linearen Regression.

### 5.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Wir verwenden den selben Versuchsaufbau wie im Hauptversuch, jedoch fügen wir eine Handpumpe dem T-Ventil hinzu. Die Messwerterfassungseinstellung ändern sich nicht gegenüber den anderen Vorversuchen. Wir erzeugen mit Hilfe der Handpumpe einen Unterdruck und messen den Druck über 10 Minuten. Dieser nimmt linear über die Zeit hinweg zu. Wir messen den Druck und tragen diesen gegen die Zeit auf.

### 5.3 Versuchsauswertung

#### 5.3.1 Rohdaten

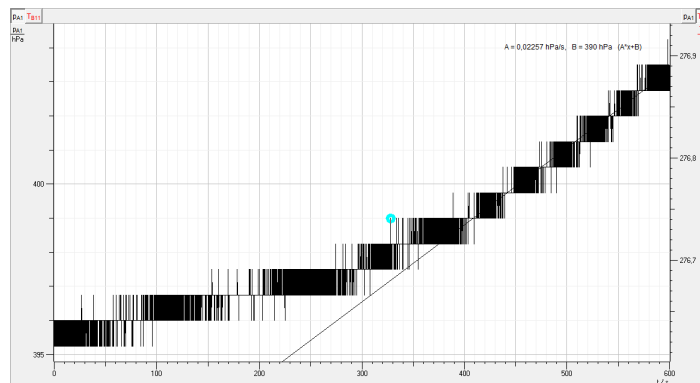


Abbildung 9: Leckmessung Gruppe 1

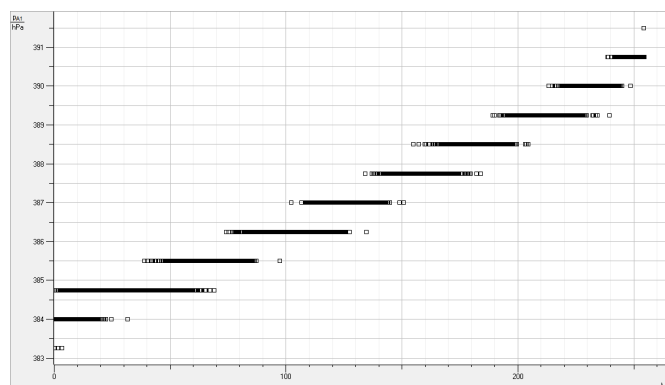


Abbildung 10: Leckmessung Gruppe 2

### 5.3.2 Transformation und Analyse der Rohdaten

Bei Gruppe 1 haben wir am Anfang eine sich ändernde Leckrate festgestellt, die zunächst bei  $\approx 0.7 \frac{hPa}{min}$  lag. Diese pendelte sich gegen Ende der Messung bei  $1.264 \frac{hPa}{min}$  ein. Daher haben wir vor der Linearen Regression die Werte vom Anfang abgeschnitten. Wir führen eine Lineare Regression durch und erhalten aus der Steigung die Leckrate.

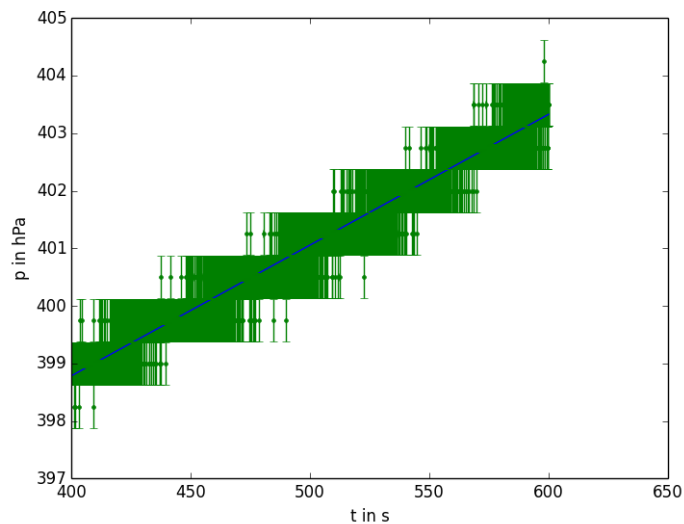


Abbildung 11: Lineare Regression Gruppe 1  $\frac{\chi^2}{f} = 0.638$

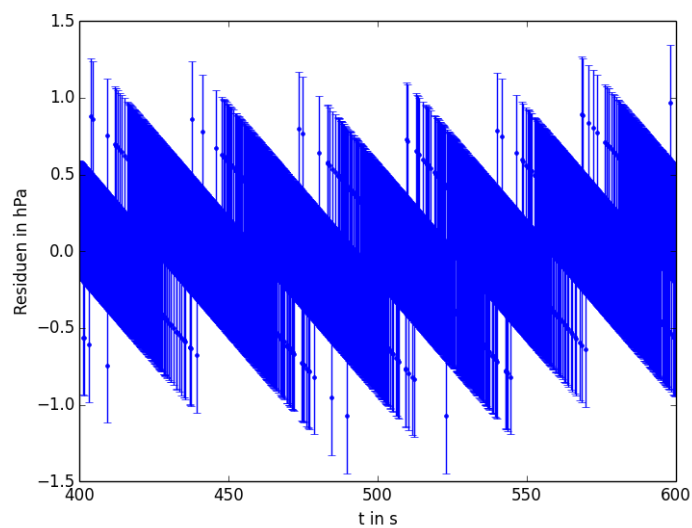


Abbildung 12: Residuen für die Anpassung von Gruppe 1

Die Leckrate für Gruppe 1 beträgt  $1.364 \frac{hPa}{min}$ .

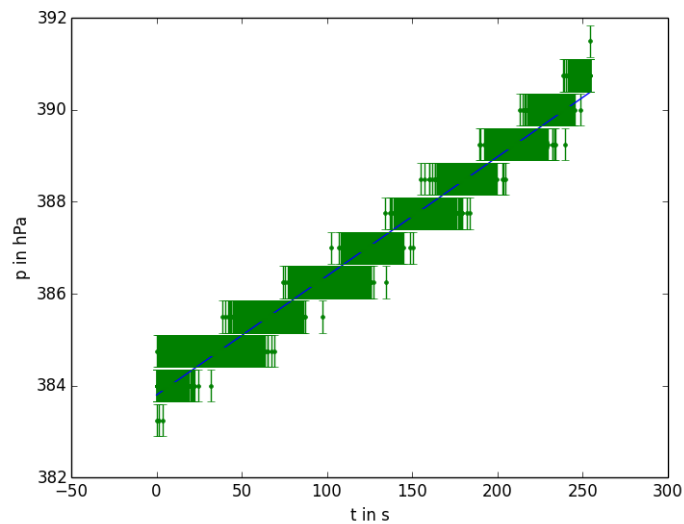


Abbildung 13: Lineare Regression Gruppe 2,  $\chi^2_f = 0.804$

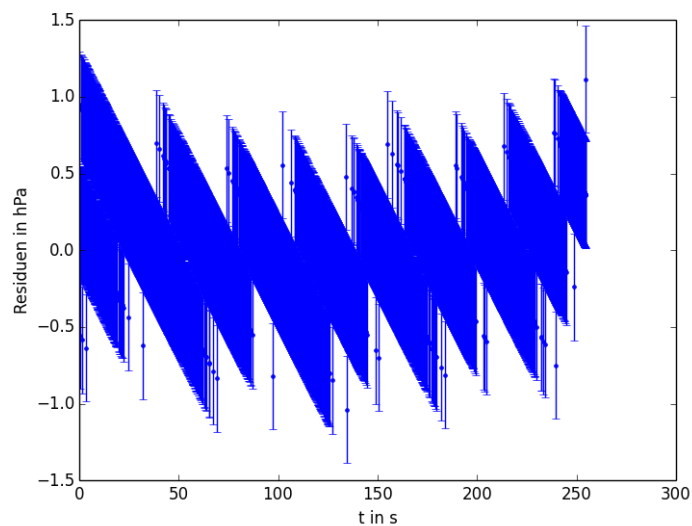


Abbildung 14: Residuen der Anpassung Gruppe 2

Die Leckrate für Gruppe 2 beträgt  $1.554 \frac{hPa}{min}$ .

### 5.3.3 Fazit

Die Leckraten von  $1.364 \frac{hPa}{min}$ , bzw  $1.554 \frac{hPa}{min}$  betragen nur ca  $\frac{1}{300}$  unseres eigentlichen Wertes. Da die Lineare Regression in einem Bereich stattgefunden hat, in dem wir mit der Aulösung des Sensors arbeiten mussten, sieht man diese Bereich sehr gut in den Residuenplots. Ansonsten lassen sich keine Systematiken feststellen. Wir sind mit den Ergebnissen des Vorversuchs zufrieden, die Güte der Anpassung liegt ebenfalls in einem zufriedenstellenden Rahmen ( $\chi^2_f = 0.638$  für Gruppe 1 und  $\chi^2_f = 0.804$  für Gruppe 2).

## 6 Bestimmung der Verdampfungsenthalpie von Wasser

### 6.1 Versuchsaufbau und Durchführung

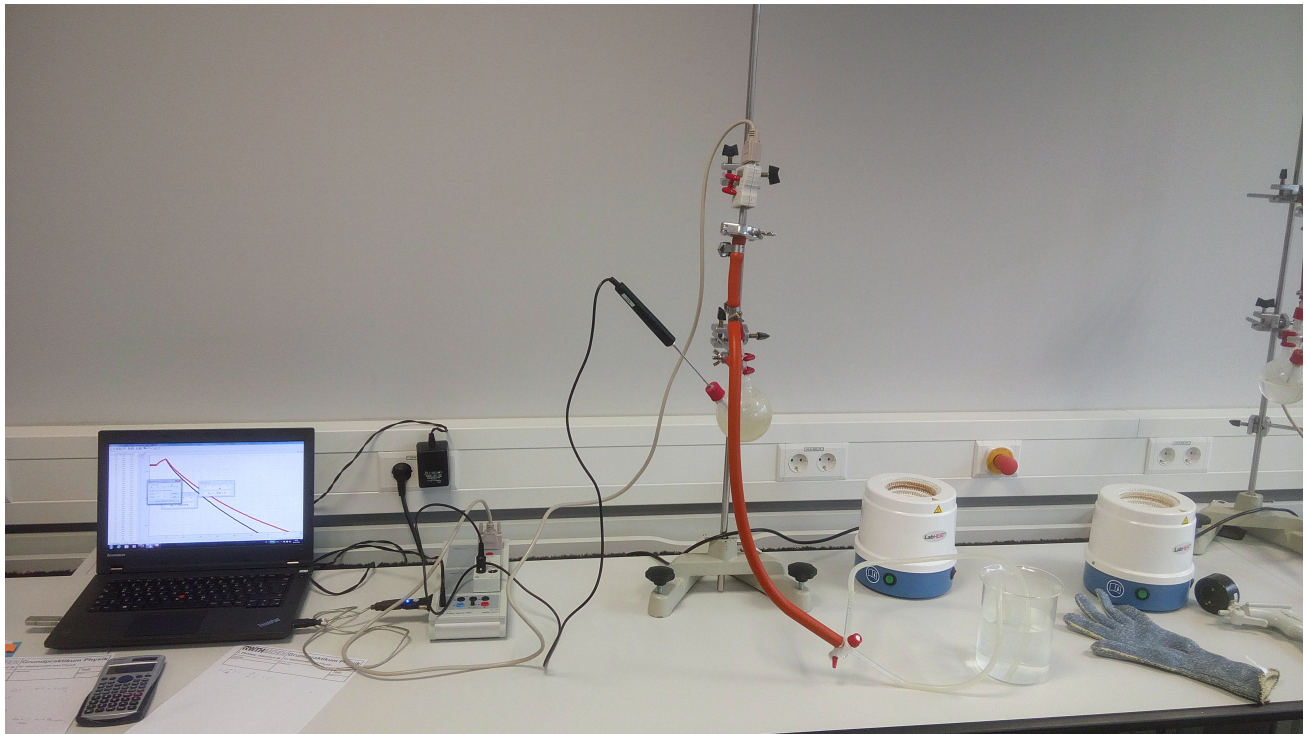


Abbildung 15: Versuchsaufbau während des Abkühlvorgangs

Benötigte Geräte:

- Sensor-Cassy
- Heizhaube
- Absolutdrucksensor mit Stativstange
- Verbindungskabel
- Temperatursensor
- Temperaturbox
- Kolben
- Messbecher
- Glasventil
- Stativ mit Stange
- Schläuche
- Verbindungsstücke
- Muffen

Tabelle 10: Messparameter

	Gruppe 1	Gruppe 2
Intervall	50ms	100ms
Anzahl	12000	unbegrenzt
Messzeit	600s	unbegrenzt

Für diesen Versuch wurde der bereits mit Wasser befüllte Kolben nun mit Hilfe der Heizhaube erhitzt. Während des Erhitzens wurde das Ventil so gestellt, dass der Druck durch einen Schlauch in den Messbecher geleitet wurde, der vorher ebenfalls mit Wasser

befüllt wurde. Dadurch wurde verhindert dass Luft zurück in den Kolben strömen konnte. Nachdem die Siedetemperatur erreicht und möglichst viel Luft aus dem Kolben durch Wasserdampf verdrängt wurde, haben wir die Heizhaube entfernt, das Ventil geschlossen und die Messung gestartet.

## 6.2 Versuchsauswertung

### 6.2.1 Rohdaten



Abbildung 16: Druck gegen Temperatur des Abkühlvorgangs Gruppe 2

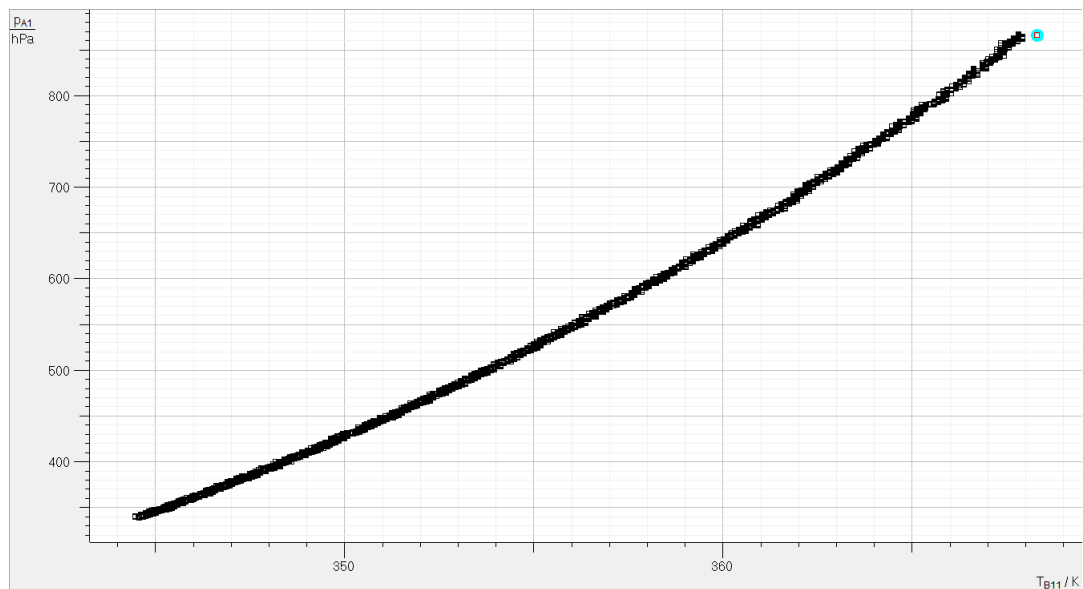


Abbildung 17: Druck gegen Temperatur des Abkühlvorgangs Gruppe 1

### 6.2.2 Transformation der Rohdaten/Analyse

Zunächst wurden alle Werte unserer Messung umgeformt in  $\ln(p)$  und  $\frac{1}{T}$ .



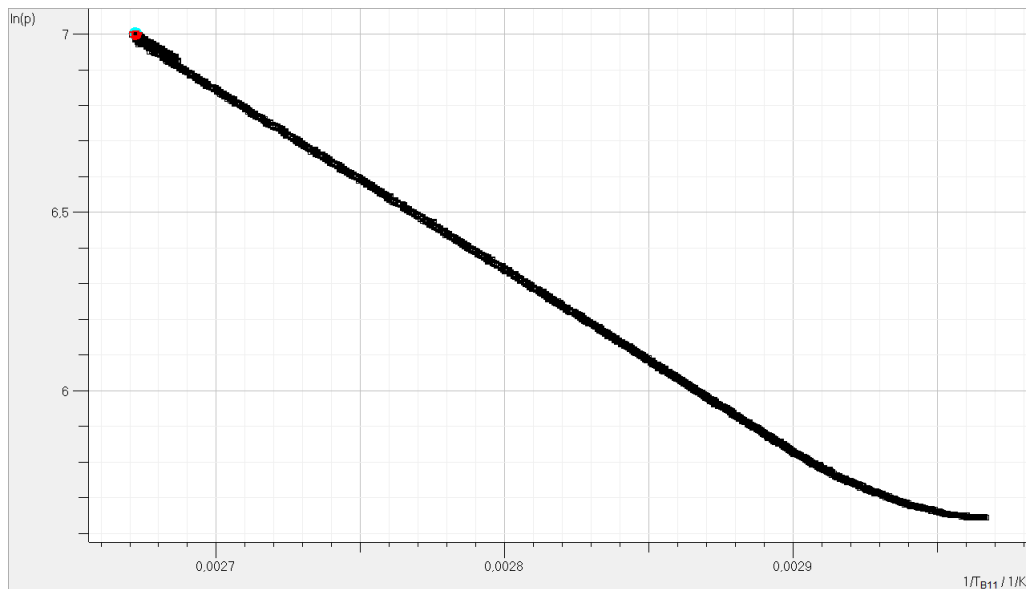


Abbildung 18:  $\ln(p)$  gegen  $\frac{1}{T}$  des Abkühlvorgangs Gruppe 2

Mit diesen Werten wurde anschließend eine Lineare Regression durchgeführt und durch die Werte mit ihren Fehlern geplottet. Dabei wurden die Werte in 16 Teile unterteilt um später die Temperaturabhängigkeit der Verdampfungswärme betrachten zu können.

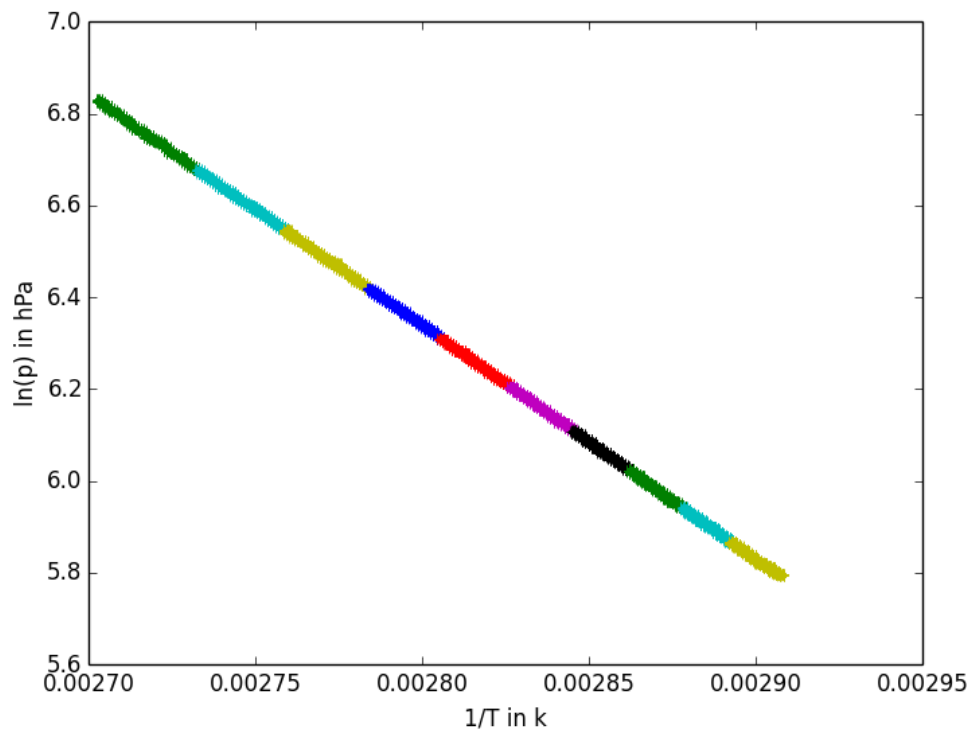


Abbildung 19: Lineare Regression durch die umgeformten Messwerte, Randwerte wurden bereits entfernt Gruppe 2

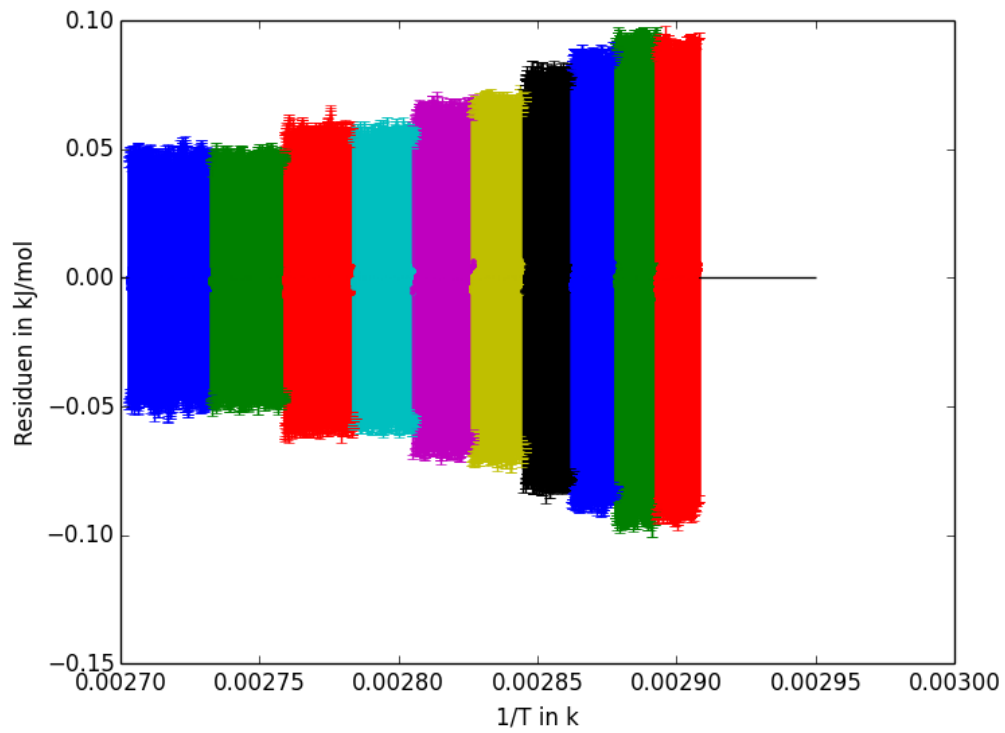


Abbildung 20: Residuen zur Linearen Regression

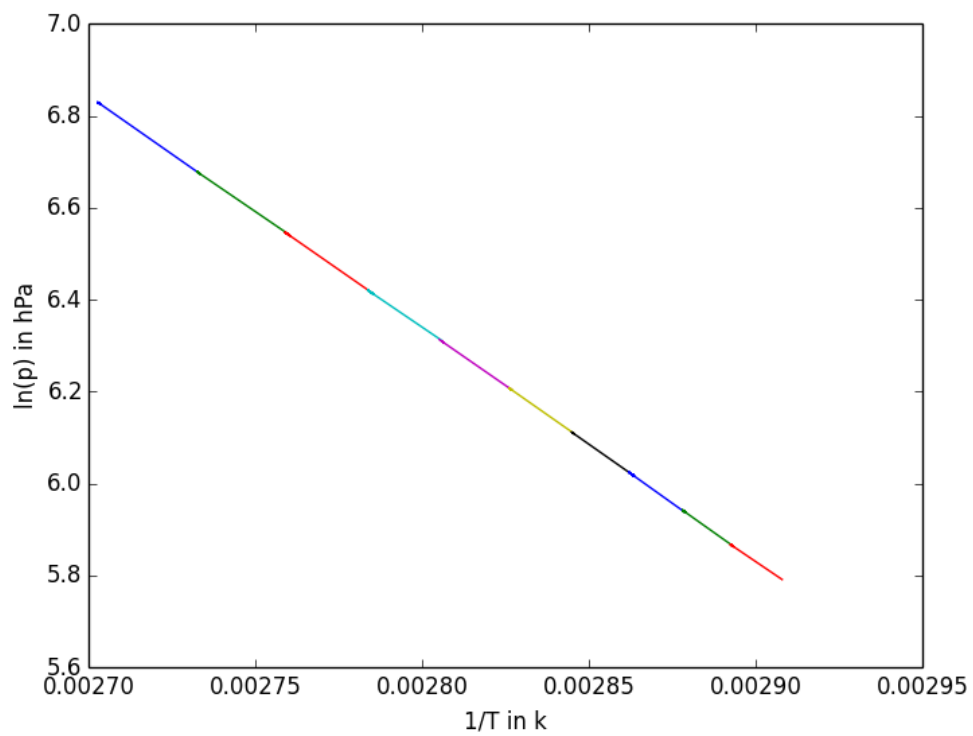


Abbildung 21: Lineare Regression ohne Messwerte Gruppe 2

- $\frac{\chi^2}{f} \Rightarrow 1.27|0.96|1.12|0.86|0.89|0.77|0.79|0.78|0.71|0.74$

Die Steigung der Linearen Regression ergibt sich zu  $-\frac{\Lambda}{R}$ , sodass sich daraus nun unser Ergebnis für  $\Lambda$  berechnen lässt.

Tabelle 11: Ergebnisse Gruppe 1

Abschnitt	T in K	$\Lambda$ in $\frac{kJ}{mol}$	$\sigma_{\Lambda_{stat}}$ in $\frac{kJ}{mol}$	$\sigma_{\Lambda_{sys}}$ in $\frac{kJ}{mol}$
1	366.37	41.74	0.342	0.513
2	363.81	42.08	0.327	0.519
3	361.65	43.27	0.339	0.534
4	359.72	41.62	0.324	0.515
5	358.0	42.51	0.327	0.526
6	356.39	43.34	0.294	0.537
7	354.95	42.88	0.272	0.532
8	353.53	42.65	0.365	0.53
9	352.27	41.19	0.327	0.513
10	351.06	44.01	0.384	0.547
11	349.95	41.45	0.395	0.517
12	348.87	41.2	0.299	0.514
13	347.84	42.88	0.406	0.535
14	346.86	45.11	0.432	0.563
15	345.91	39.82	0.446	0.499
16	344.99	40.41	0.414	0.506
17	343.32	41.56	0.143	0.521
18	342.4	38.78	0.163	0.488
19	341.57	42.03	0.212	0.528
20	340.68	36.24	0.175	0.458
21	339.78	37.06	0.189	0.468

Tabelle 12: Ergebnisse Gruppe 2

Abschnitt	T in K	$\Lambda$ in $\frac{kJ}{mol}$	$\sigma_{\Lambda_{stat}}$ in $\frac{kJ}{mol}$	$\sigma_{\Lambda_{sys}}$ in $\frac{kJ}{mol}$
1	367.93	42.18	0.273	0.518
2	364.13	41.17	0.156	0.508
3	360.76	41.96	0.102	0.518
4	357.71	40.97	0.1	0.508
5	355.03	41.8	0.12	0.519
6	352.6	42.24	0.117	0.525
7	350.38	42.31	0.136	0.527
8	348.4	43.03	0.141	0.537
9	346.54	42.79	0.162	0.535
10	344.83	40.84	0.175	0.512

Anschließend wurden die Ergebnisse für  $\Lambda$  gegen die Temperatur aufgetragen.

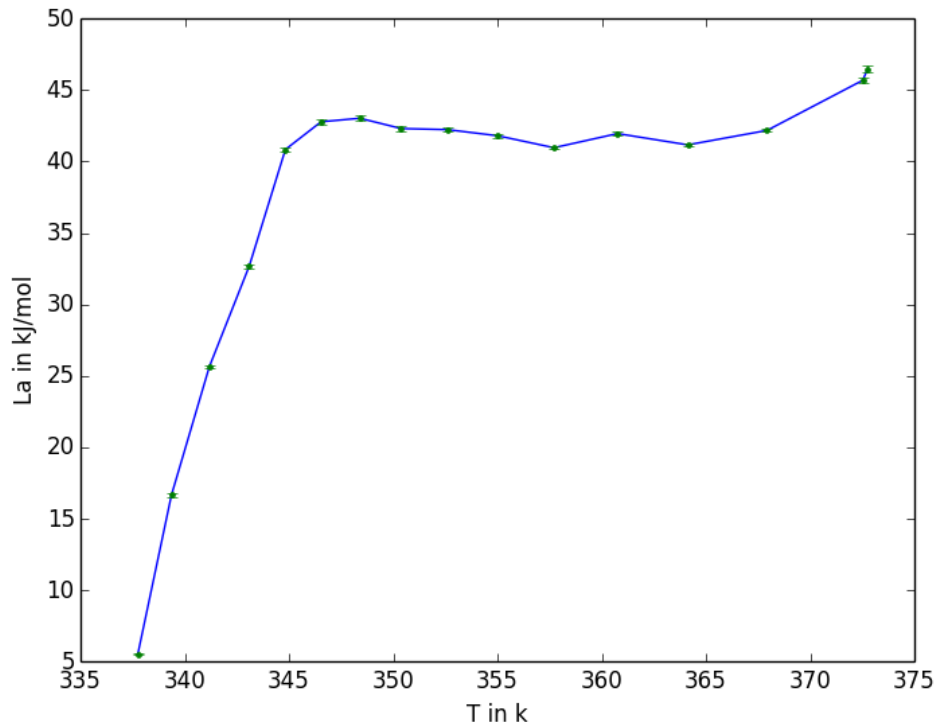


Abbildung 22: Verdampfungswärme gegen Temperatur Gruppe 2

Die ersten vier so wie die letzten zwei Werte wurden in allen anderen Plots ausgelassen. Hier sieht man, dass dies sinnvoll war, da diese noch während des Aufheizens bzw. nachdem das Wasser nicht mehr siedete aufgezeichnet wurden.

### 6.2.3 Fazit

Allgemein lässt sich sagen, dass der Versuch in beiden Gruppen sehr gut abgelaufen ist. Das Abdichten hat gut geklappt und das Aufheizen sowie das Vermessen der Daten beim Abkühlen hat keine Probleme gemacht. Die Anpassung unserer Linearen Regressionen durch die Messwerte waren nach den  $\chi^2_f$  zu urteilen, sinnvoll. Die errechneten Werte für  $\Lambda$  liegen alle in der gleichen Größenordnung wie der im Skript angegebene Literaturwert von  $40.6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ . Wenn man die Werte mit der Tabelle(7) vergleicht, liegen die Abweichungen zwischen 1 und  $10 \sigma$ . Die Auftragung von  $\Lambda$  gegen  $T$  liefert leider kein sinnvolles Ergebnis, was wohl an den Näherungen in den benutzten Gleichungen liegt. Beispiele dafür sind: Ideale Gasgleichung, Vernachlässigen des Wasservolumens und das Vernachlässigen der Volumenänderung beim Erhitzen bzw. Abkühlen.

## 7 Anhang

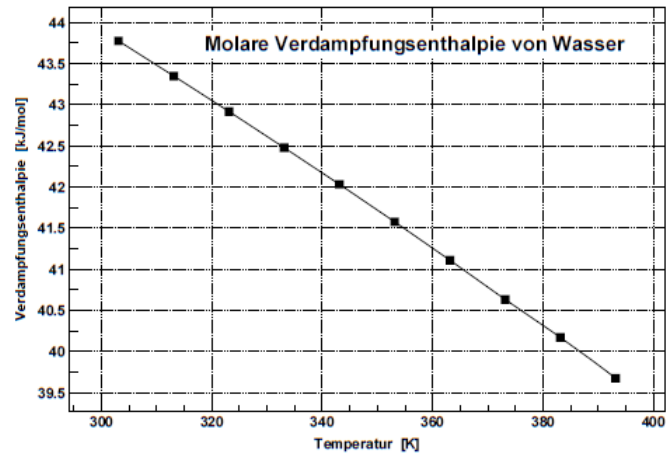


Abbildung 23: Verdampfungsenthalpie gegen Temperatur aus dem Skript

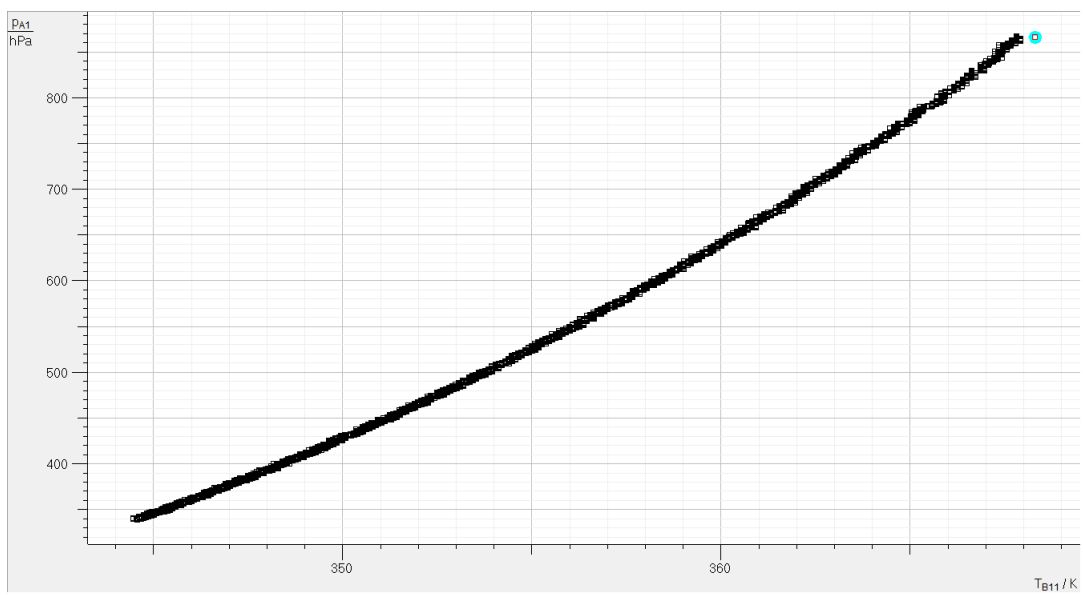


Abbildung 24: 1. Rohdaten Gruppe 1

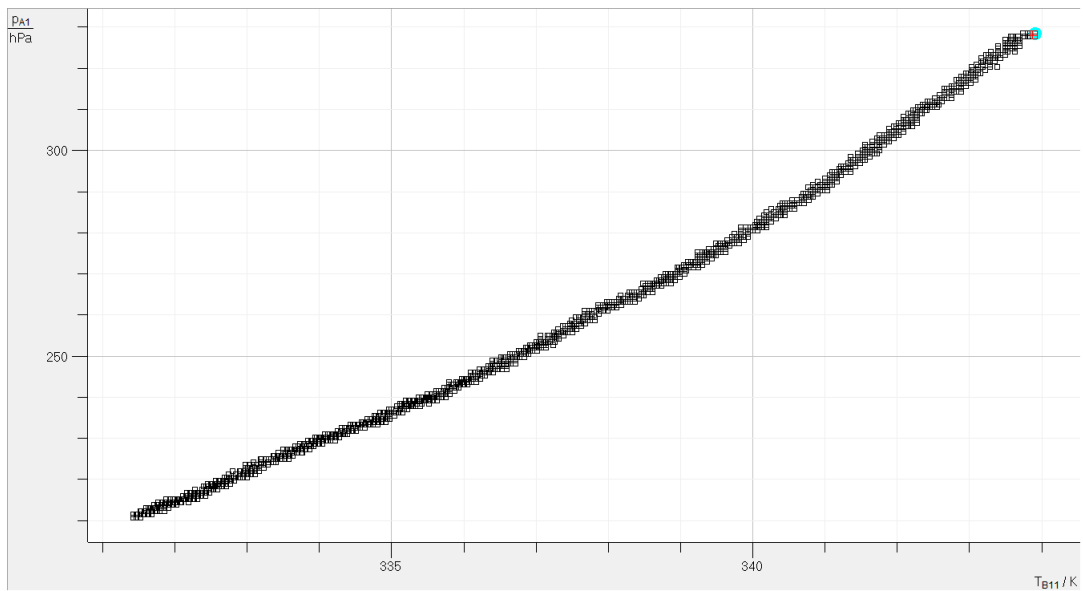


Abbildung 25: 2. Rohdaten Gruppe 1

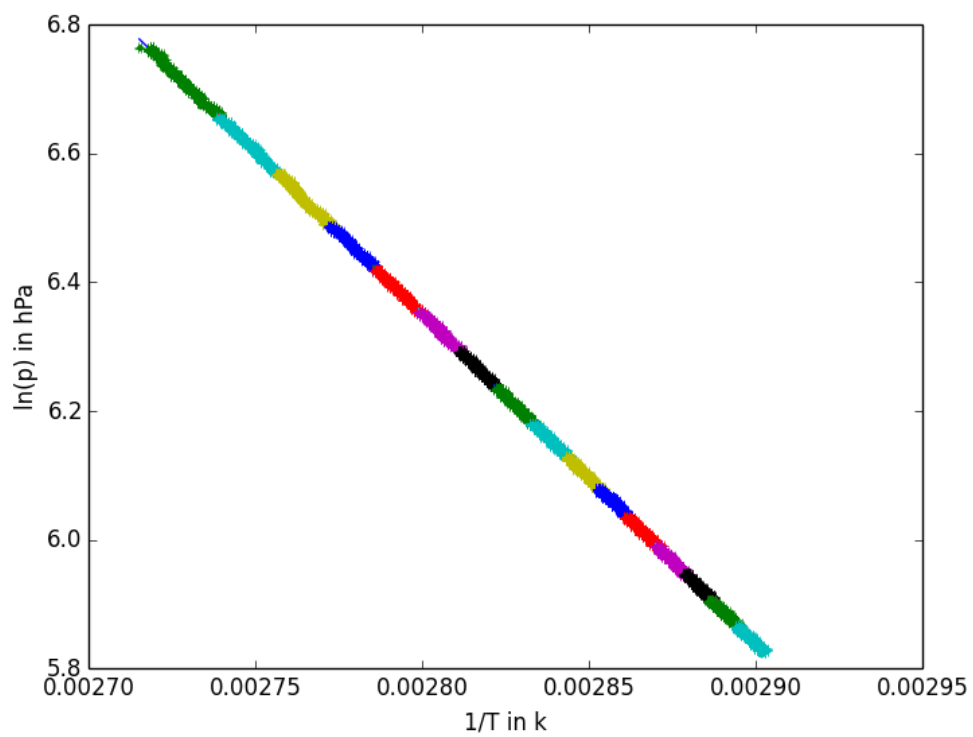


Abbildung 26: 1. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1

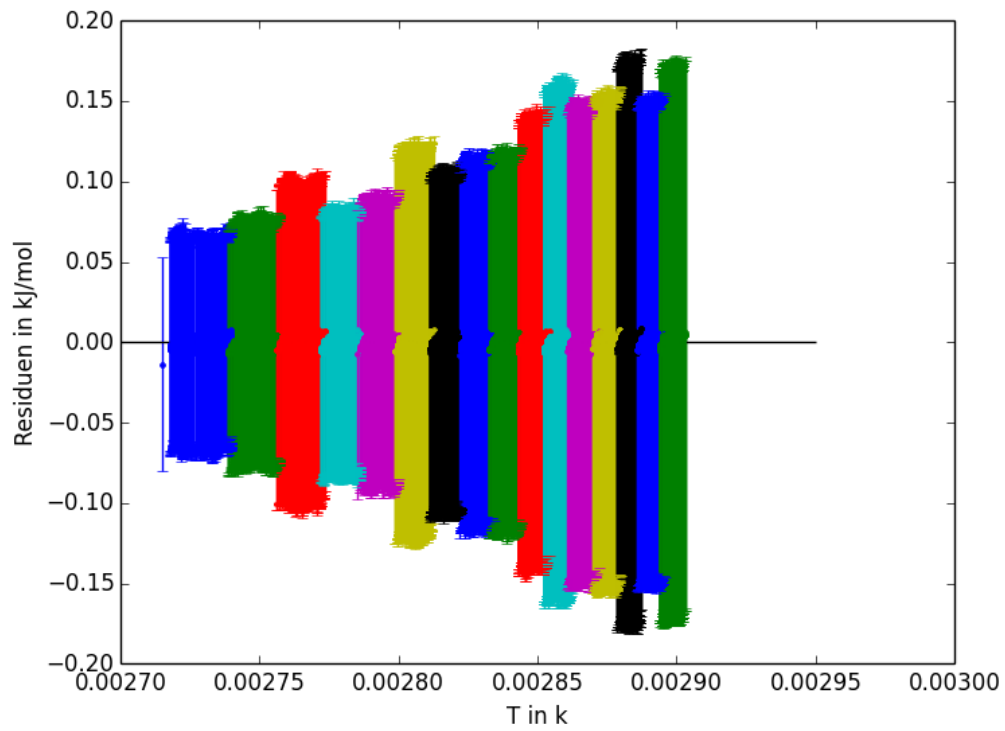


Abbildung 27: Residuen zur 1. Linearen Regression Hauptmessung Gruppe 1

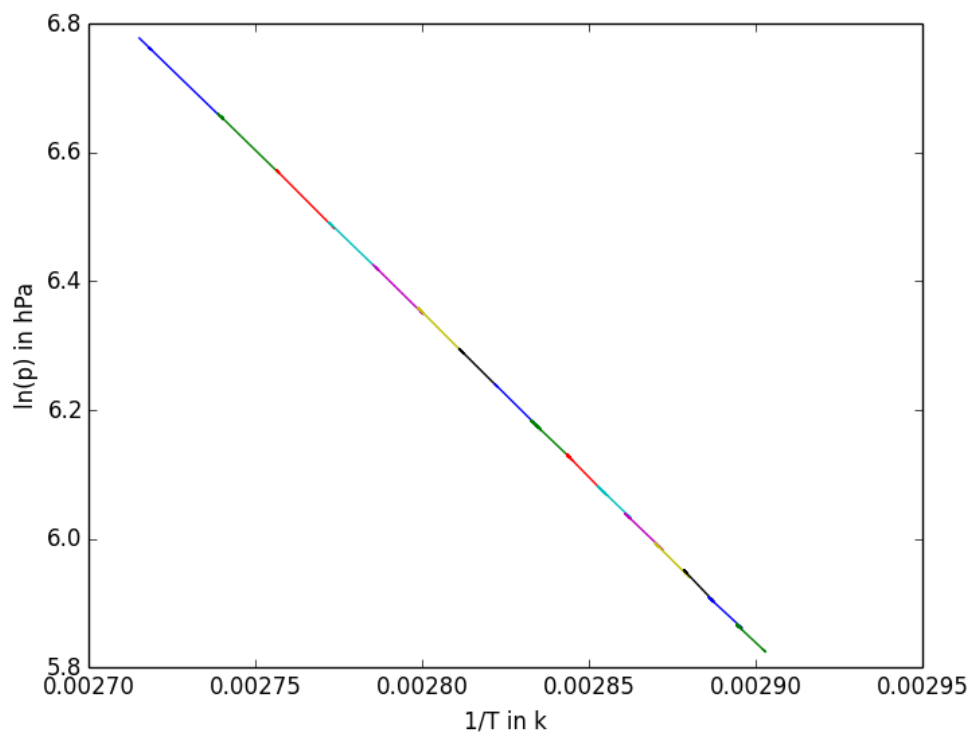


Abbildung 28: 1. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1 ohne Messwerte

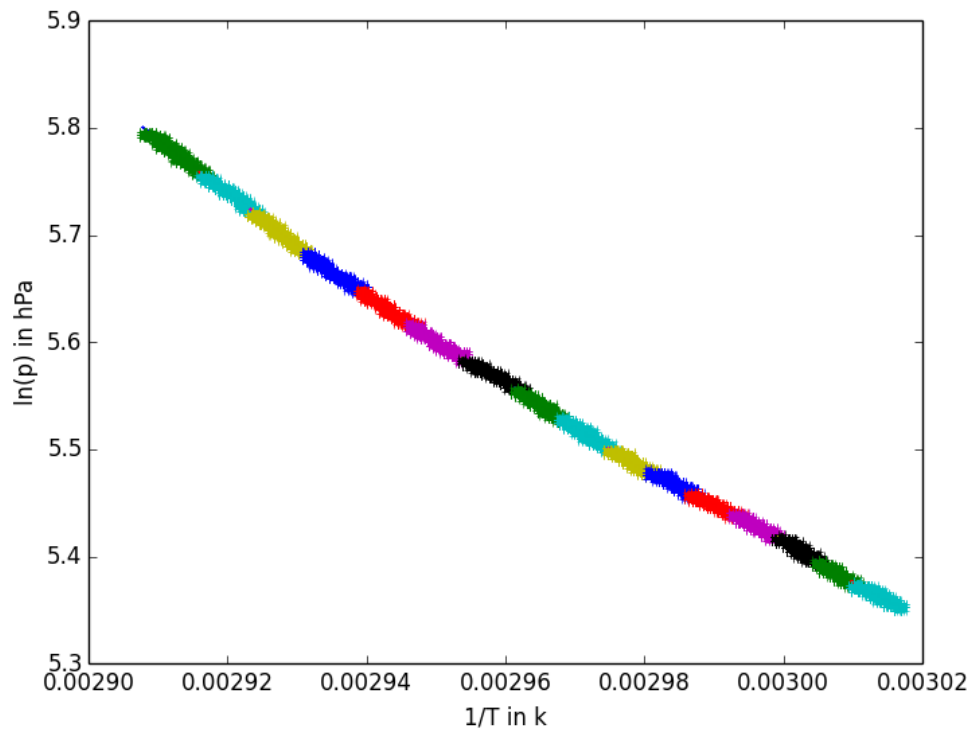


Abbildung 29: 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1

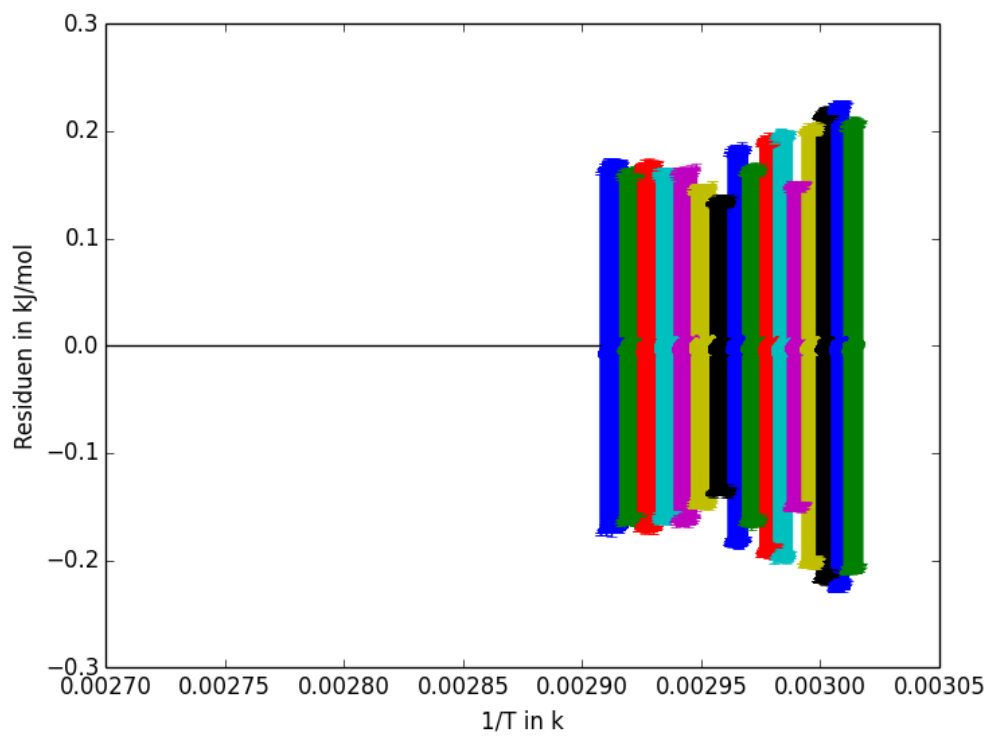


Abbildung 30: Residuen zur 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1



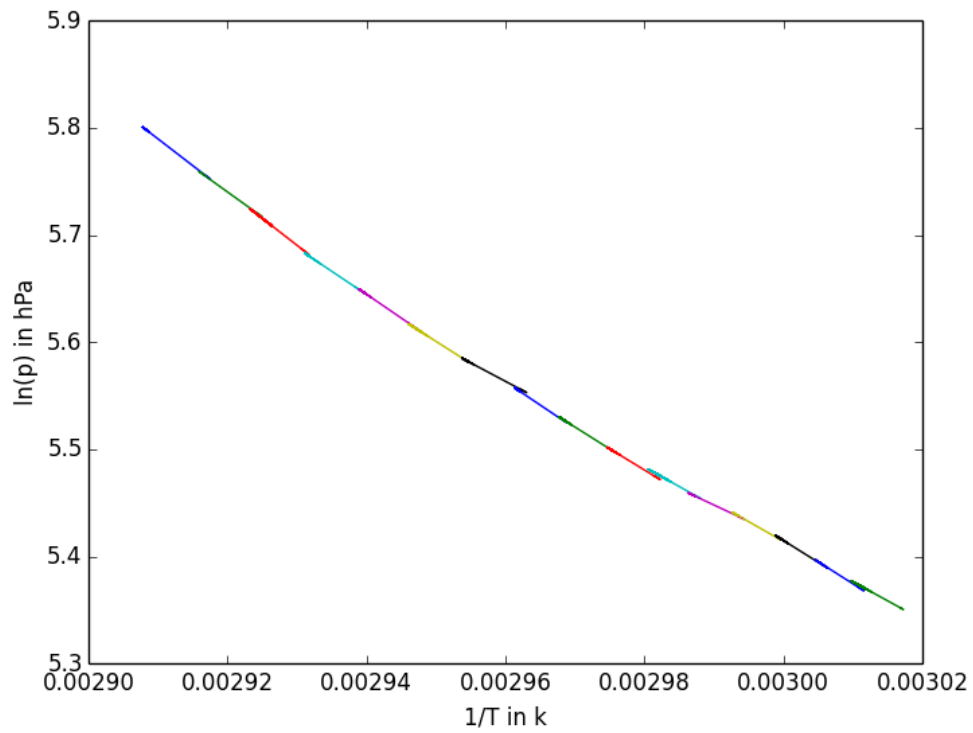


Abbildung 31: 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1 ohne Messwerte

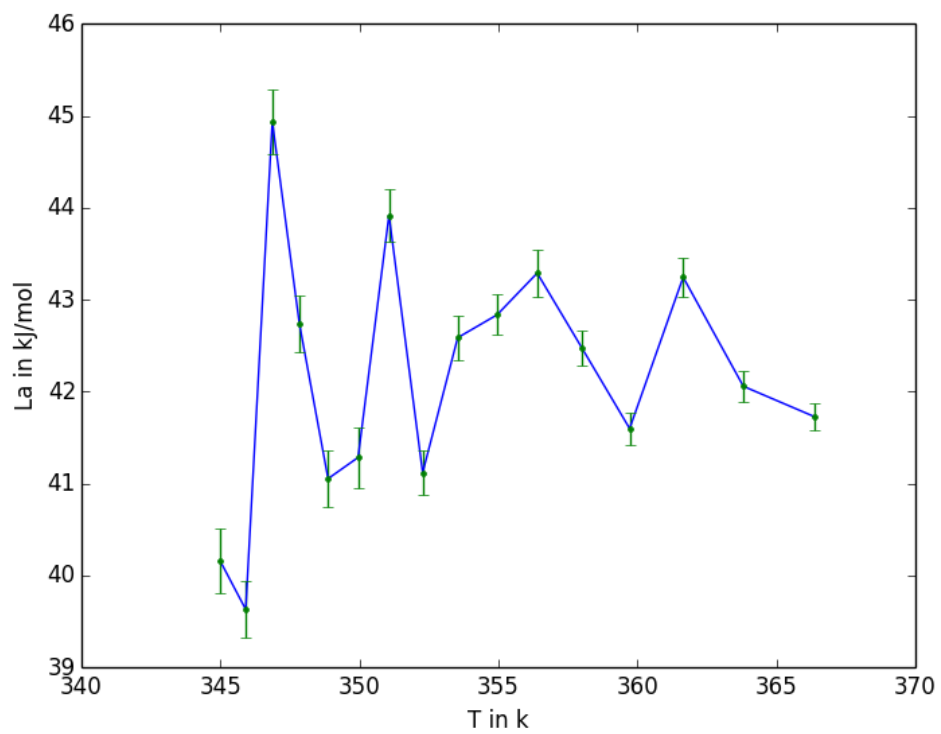


Abbildung 32: 1.  $\Lambda$  gegen  $T$  Gruppe 1

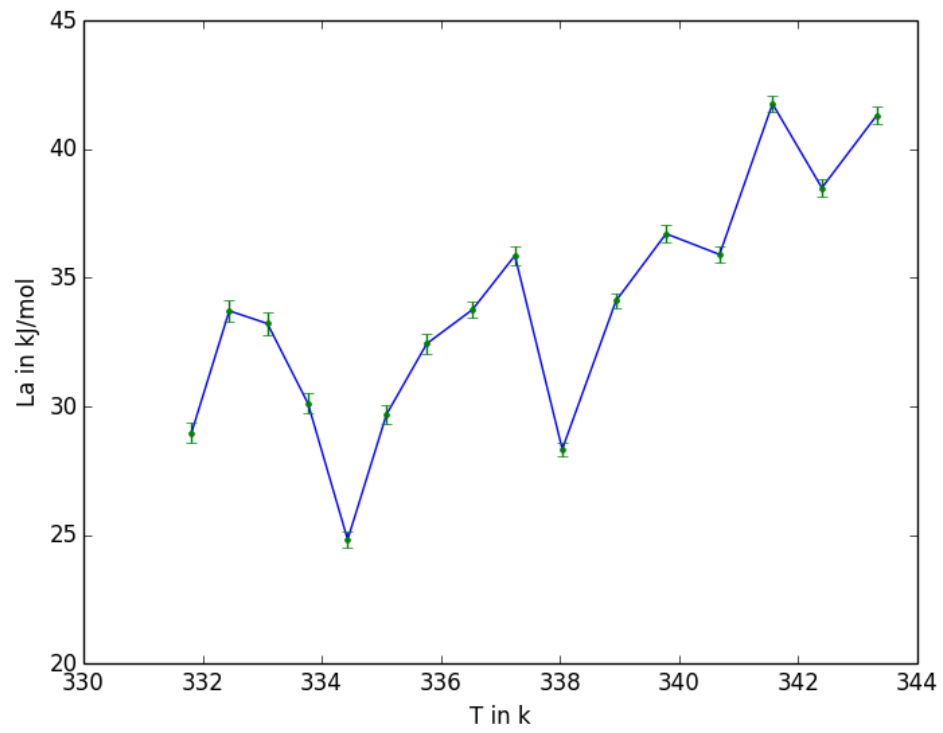


Abbildung 33: 2.  $\Delta_a$  gegen  $T$  Gruppe 1