

# 1 Bestimmung der Verdampfungsenthalpie von Wasser

## 1.1 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.

## 1.2 Versuchsaufbau und Durchführung

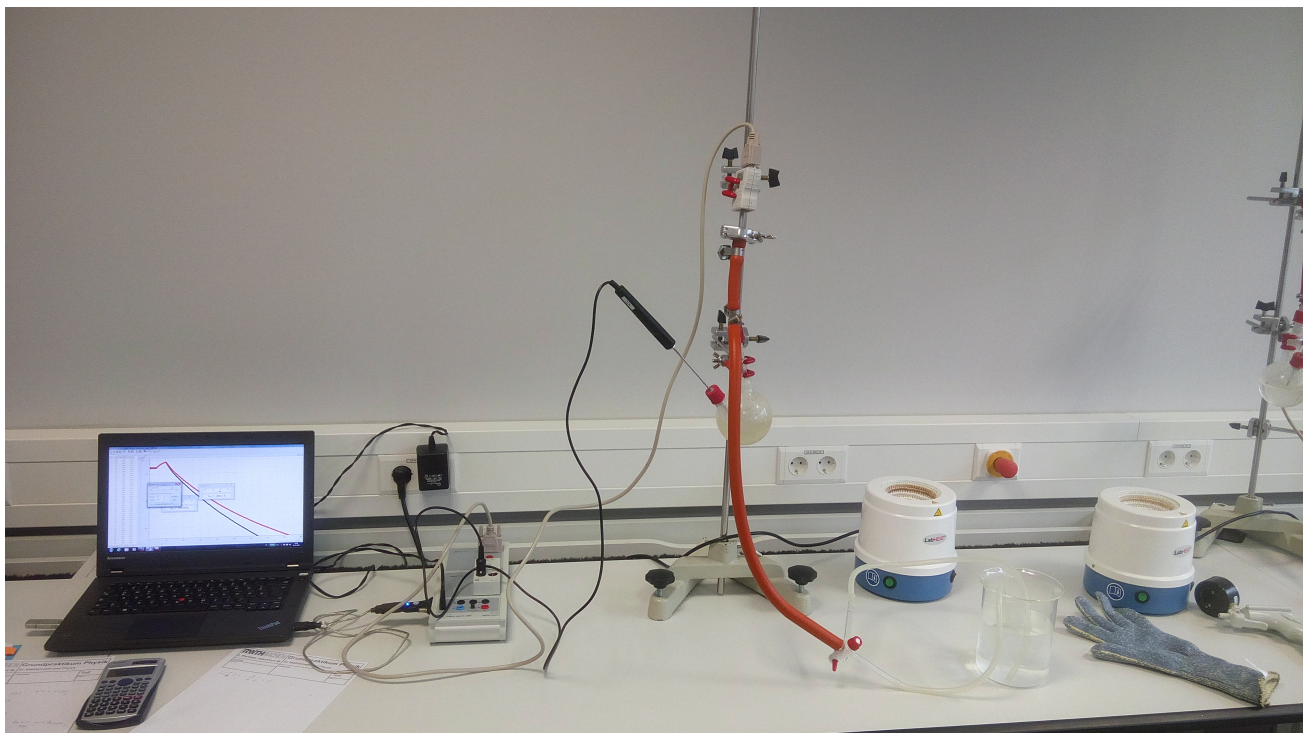


Abbildung 1: Versuchsaufbau während des Abkühlvorgangs

Benötigte Geräte:

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

Tabelle 1: 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.

## 1.3 Versuchsauswertung

### 1.3.1 Rohdaten

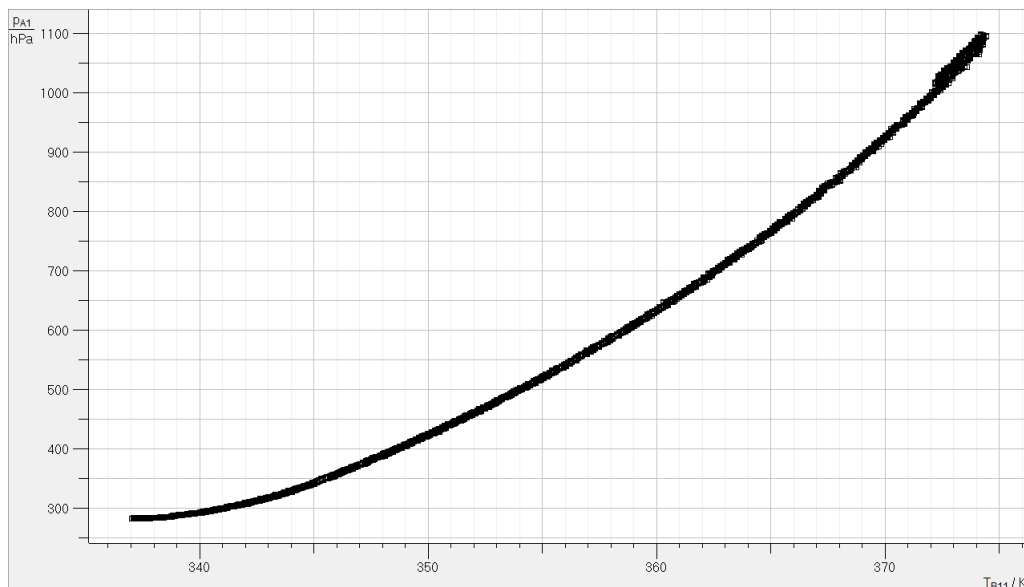


Abbildung 2: Druck gegen Temperatur des Abkühlvorgangs Gruppe 2

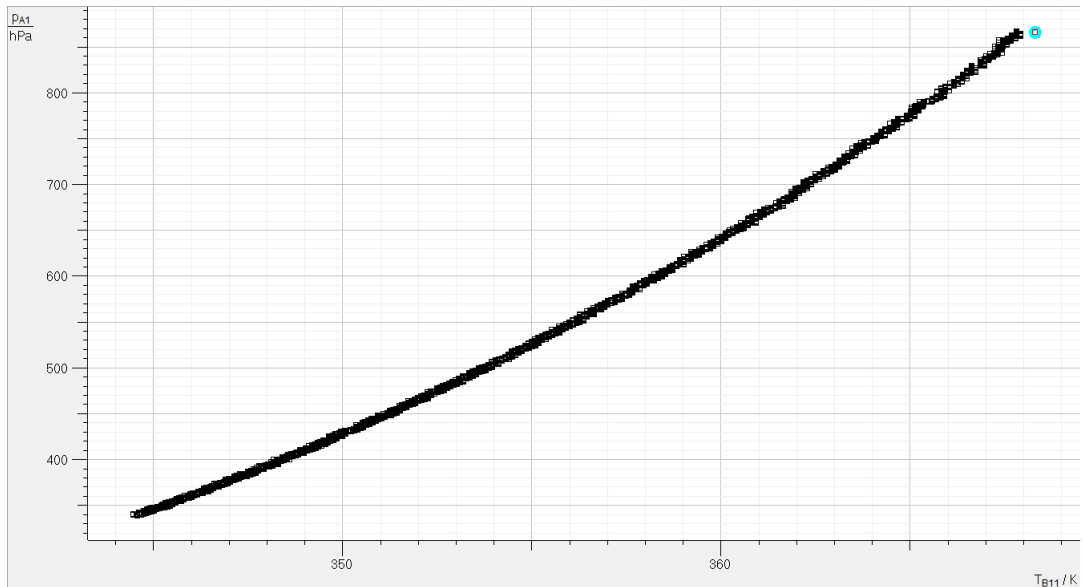


Abbildung 3: Druck gegen Temperatur des Abkühlvorgangs Gruppe 1

### 1.3.2 Transformation der Rohdaten/Analyse

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

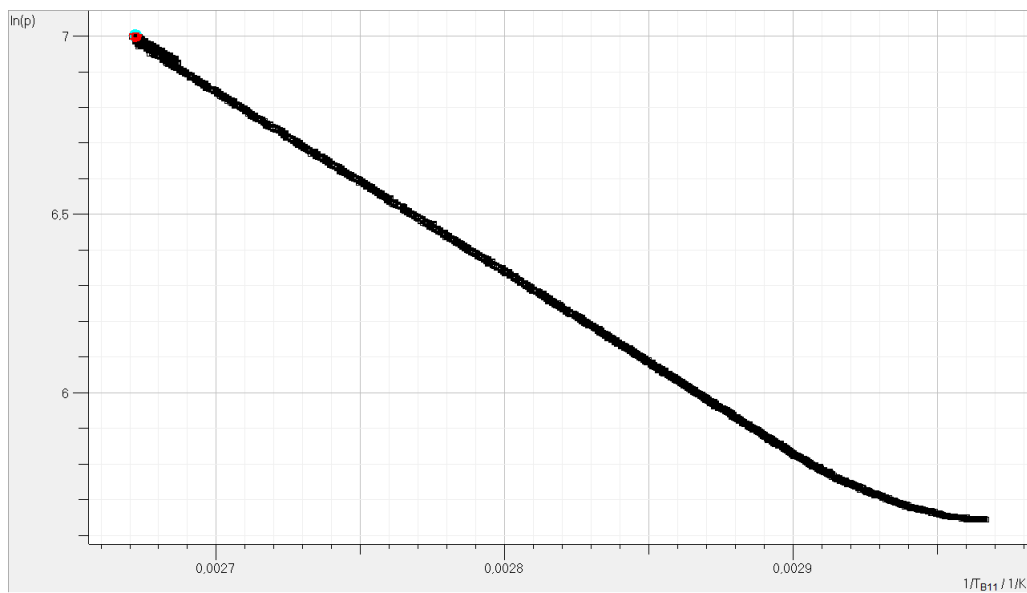


Abbildung 4:  $\ln(p)$  gegen  $\frac{1}{T}$  des Abkühlvorgangs Gruppe 2

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.

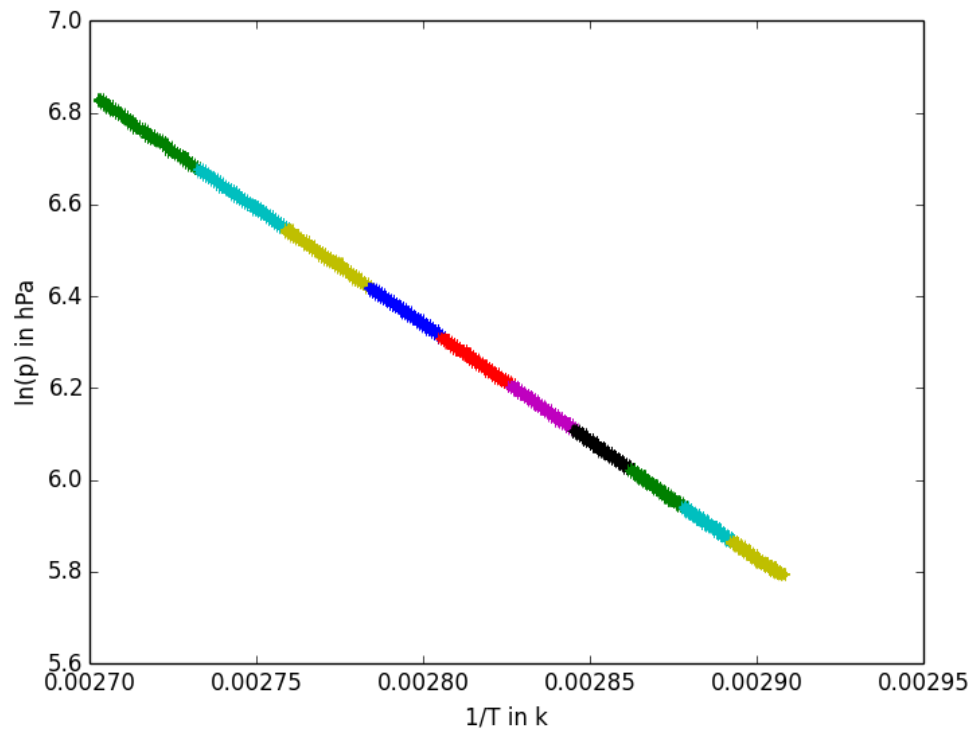


Abbildung 5: Lineare Regression durch die umgeformten Messwerte, Randwerte wurden bereits entfernt Gruppe 2

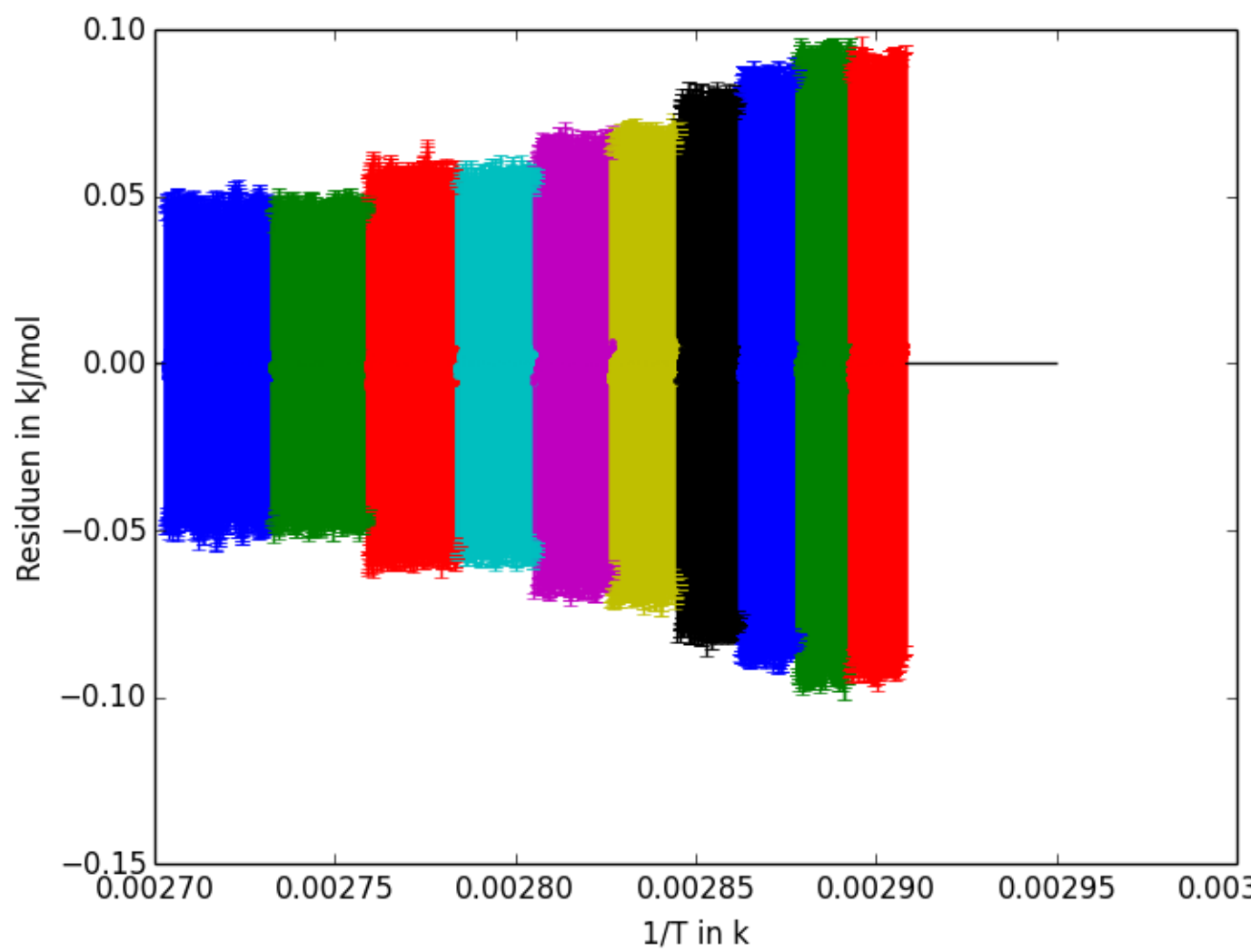


Abbildung 6: Residuen zur Linearen Regression

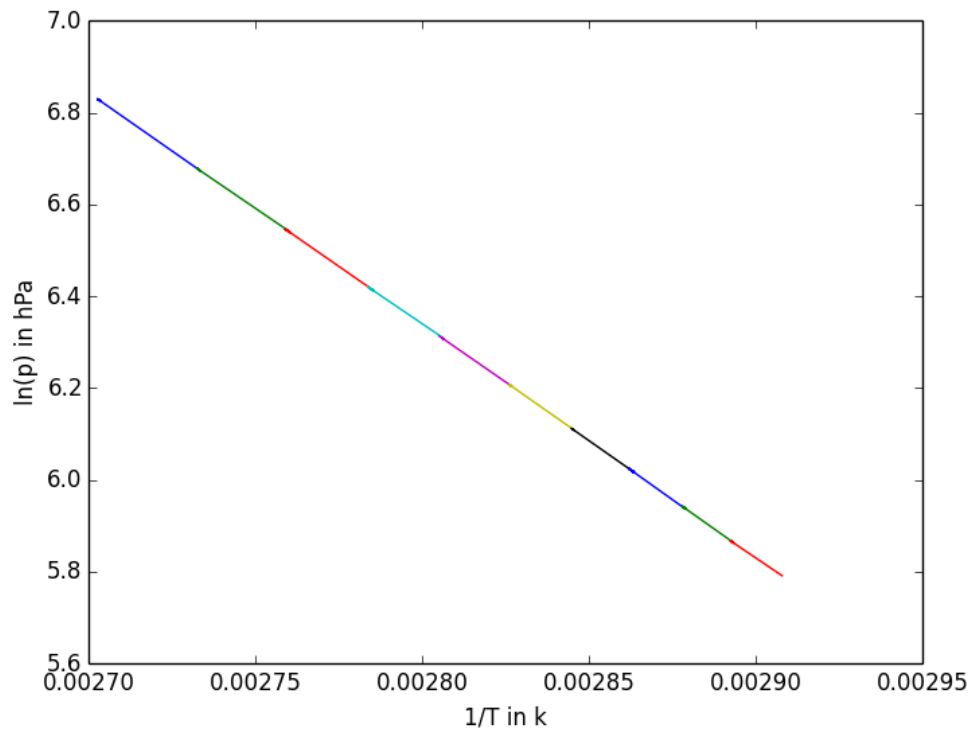


Abbildung 7: Lineare Regression ohne Messwerte Gruppe 2

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

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

Tabelle 2: 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 3: 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.

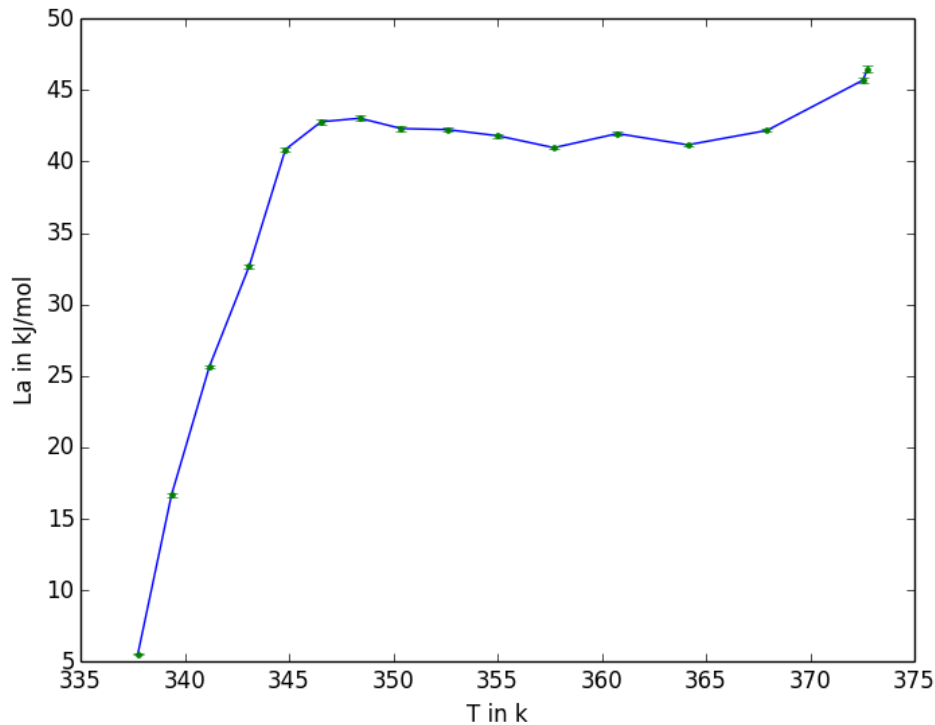


Abbildung 8: Verdampfungswärme gegen Temperatur Gruppe 2

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.

### 1.3.3 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(2) 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.



## 2 Anhang

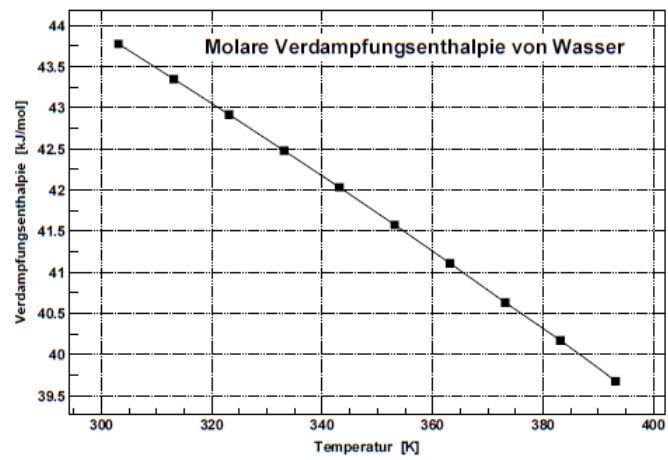


Abbildung 9: Verdampfungsenthalpie gegen Temperatur aus dem Skript

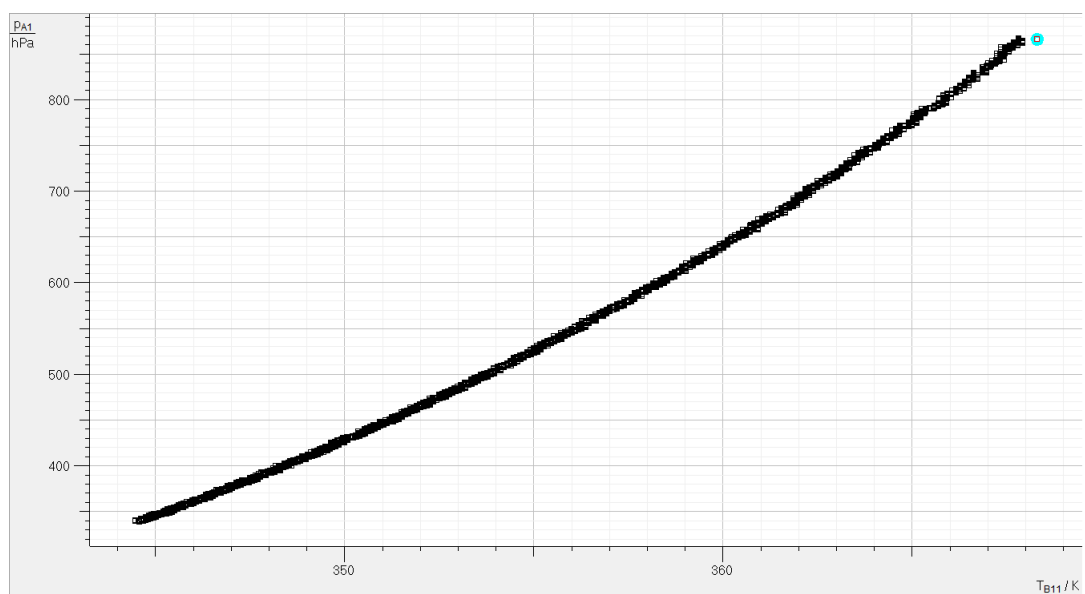


Abbildung 10: 1. Rohdaten Gruppe 1

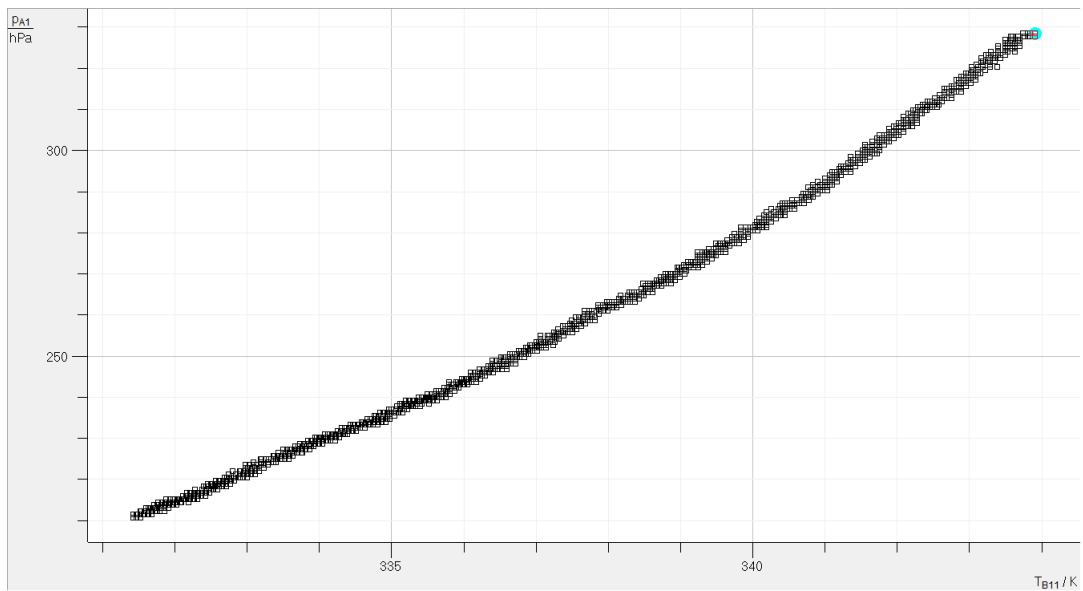


Abbildung 11: 2. Rohdaten Gruppe 1

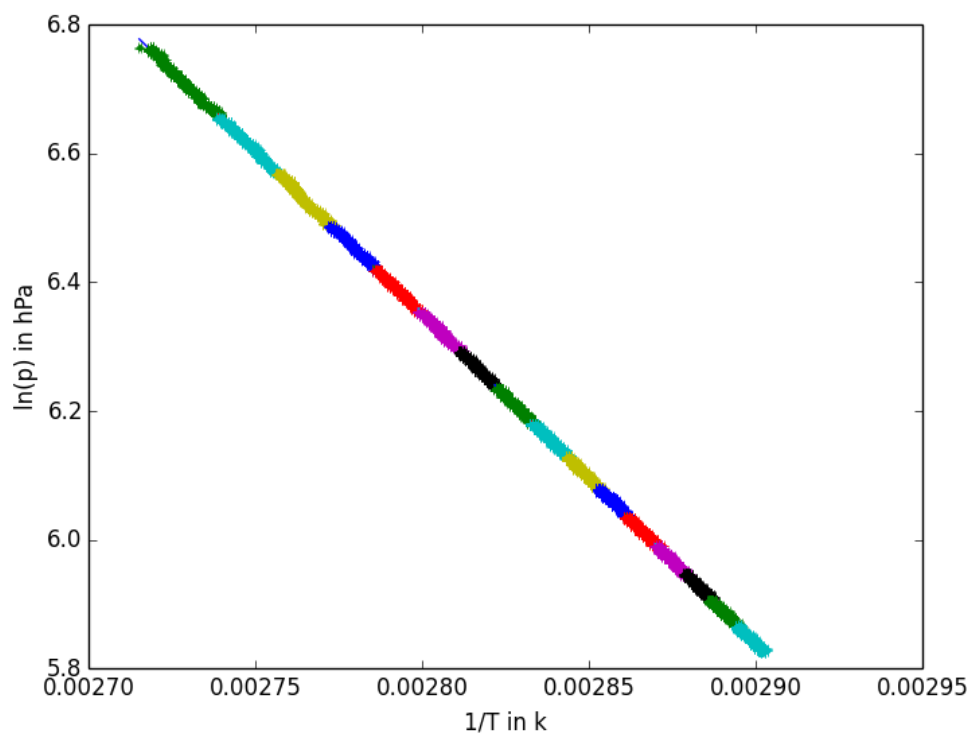


Abbildung 12: 1. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1

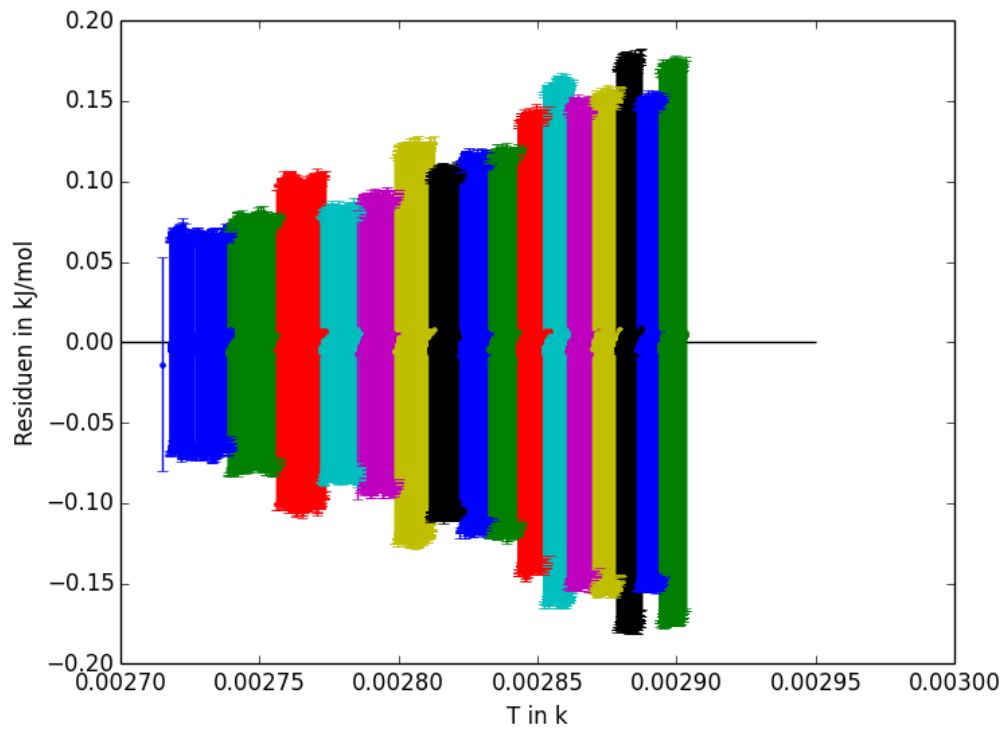


Abbildung 13: Residuen zur 1. Linearen Regression Hauptmessung Gruppe 1

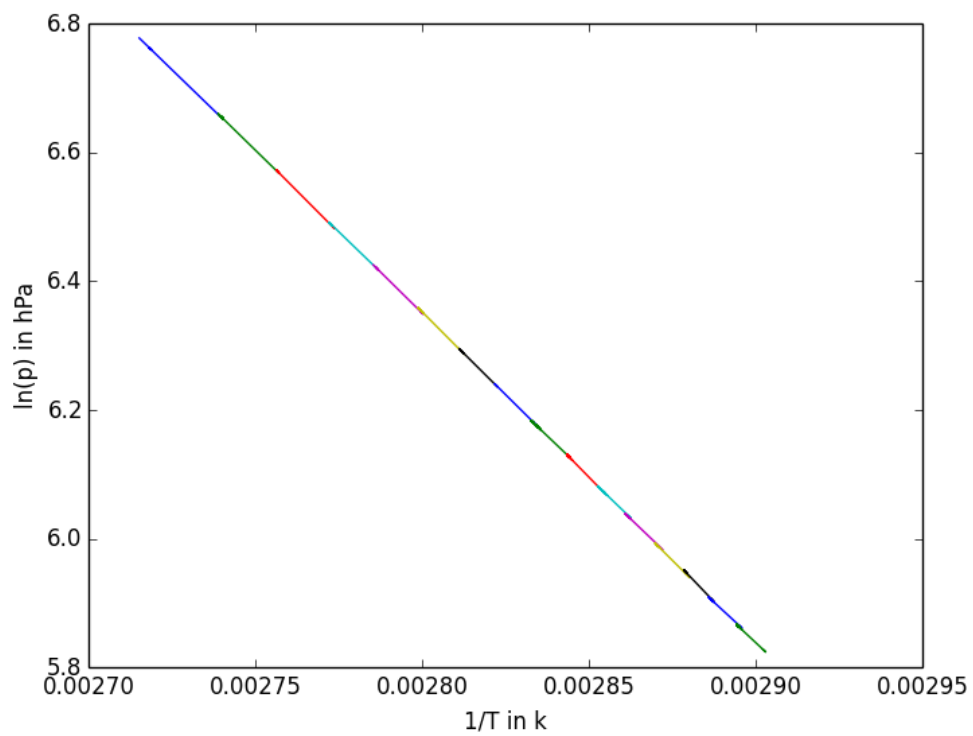


Abbildung 14: 1. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1 ohne Messwerte

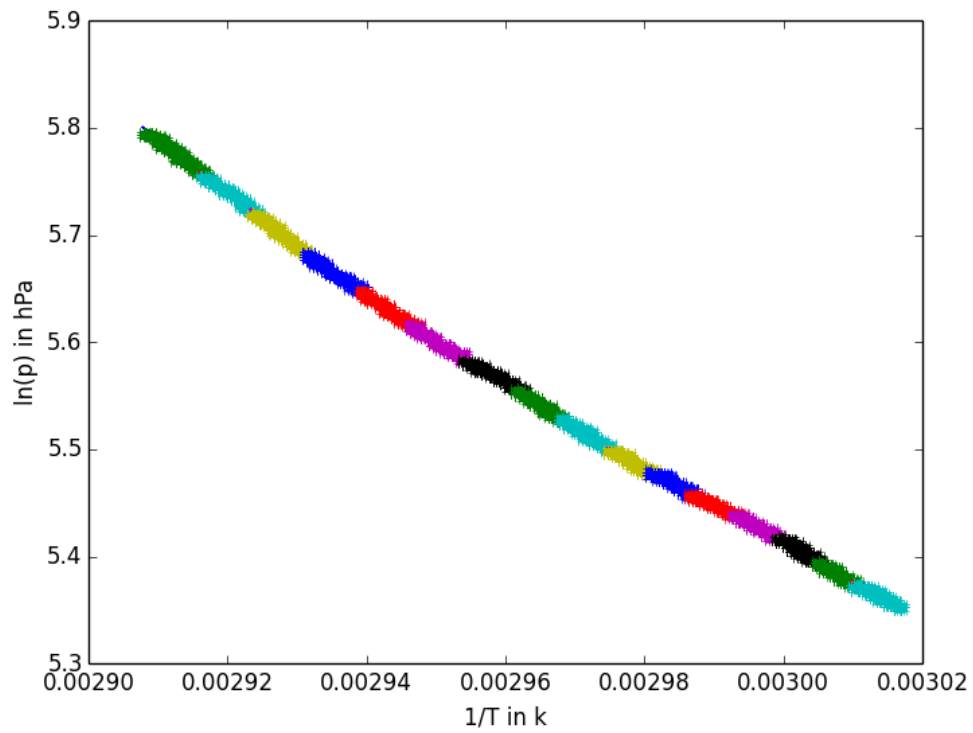


Abbildung 15: 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1

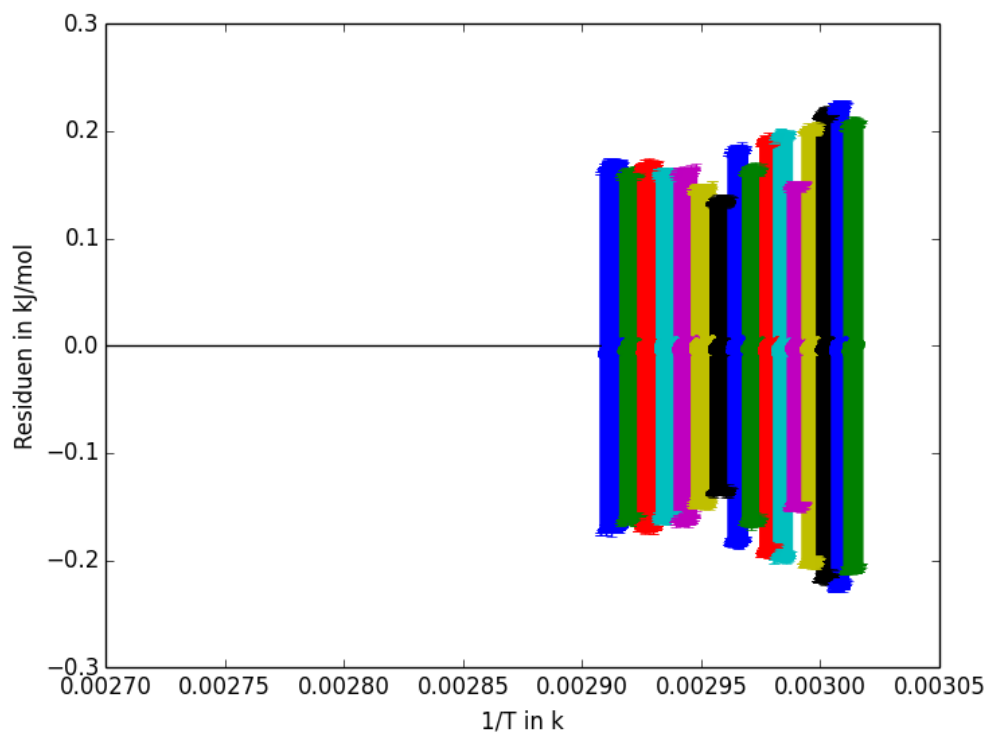


Abbildung 16: Residuen zur 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1

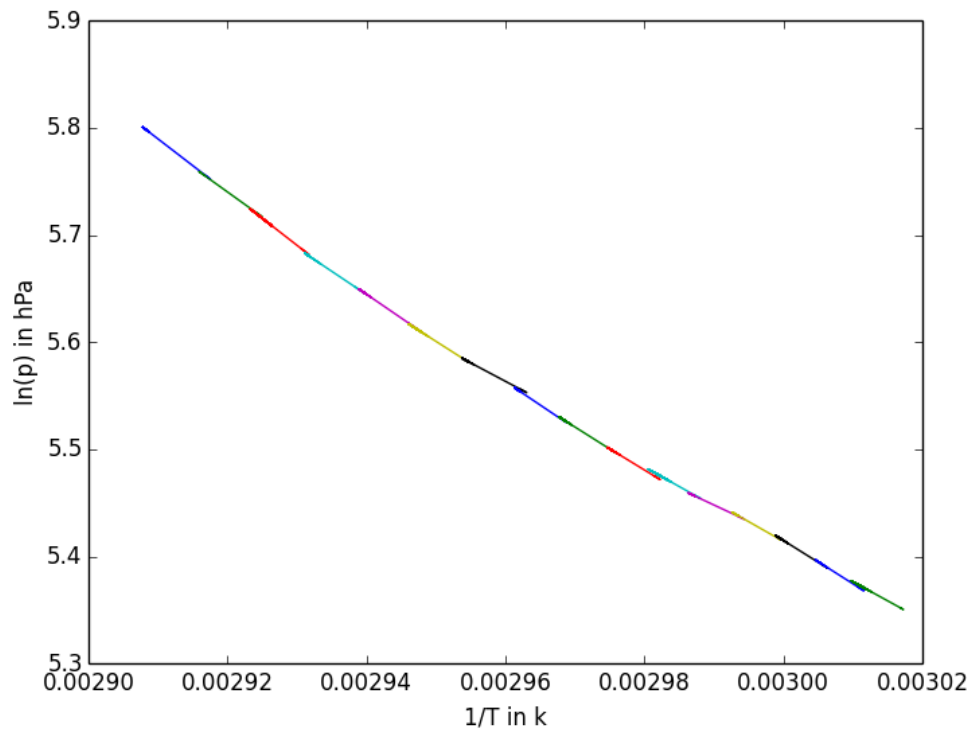


Abbildung 17: 2. Lineare Regression Hauptmessung Gruppe 1 ohne Messwerte

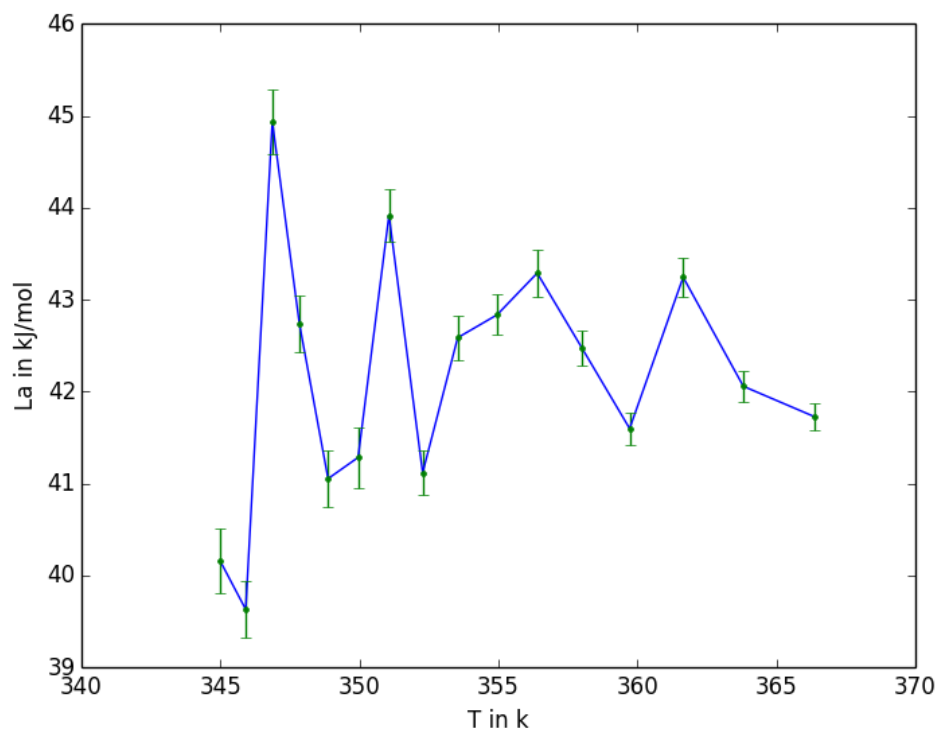


Abbildung 18: 1.  $\Lambda$  gegen  $T$  Gruppe 1

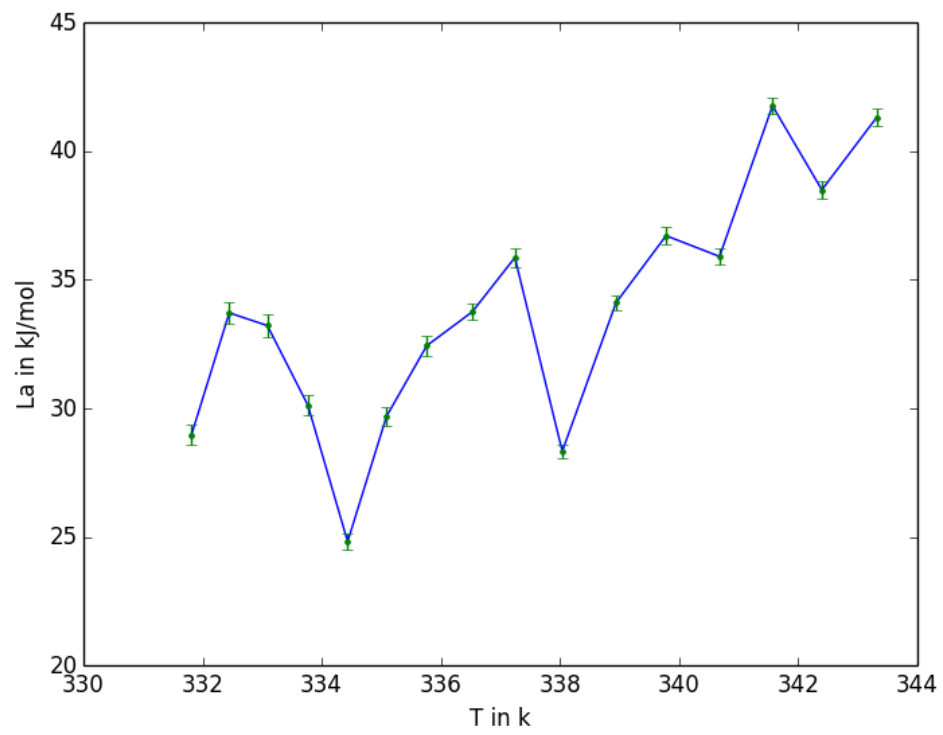


Abbildung 19: 2.  $\Lambda$  gegen  $T$  Gruppe 1