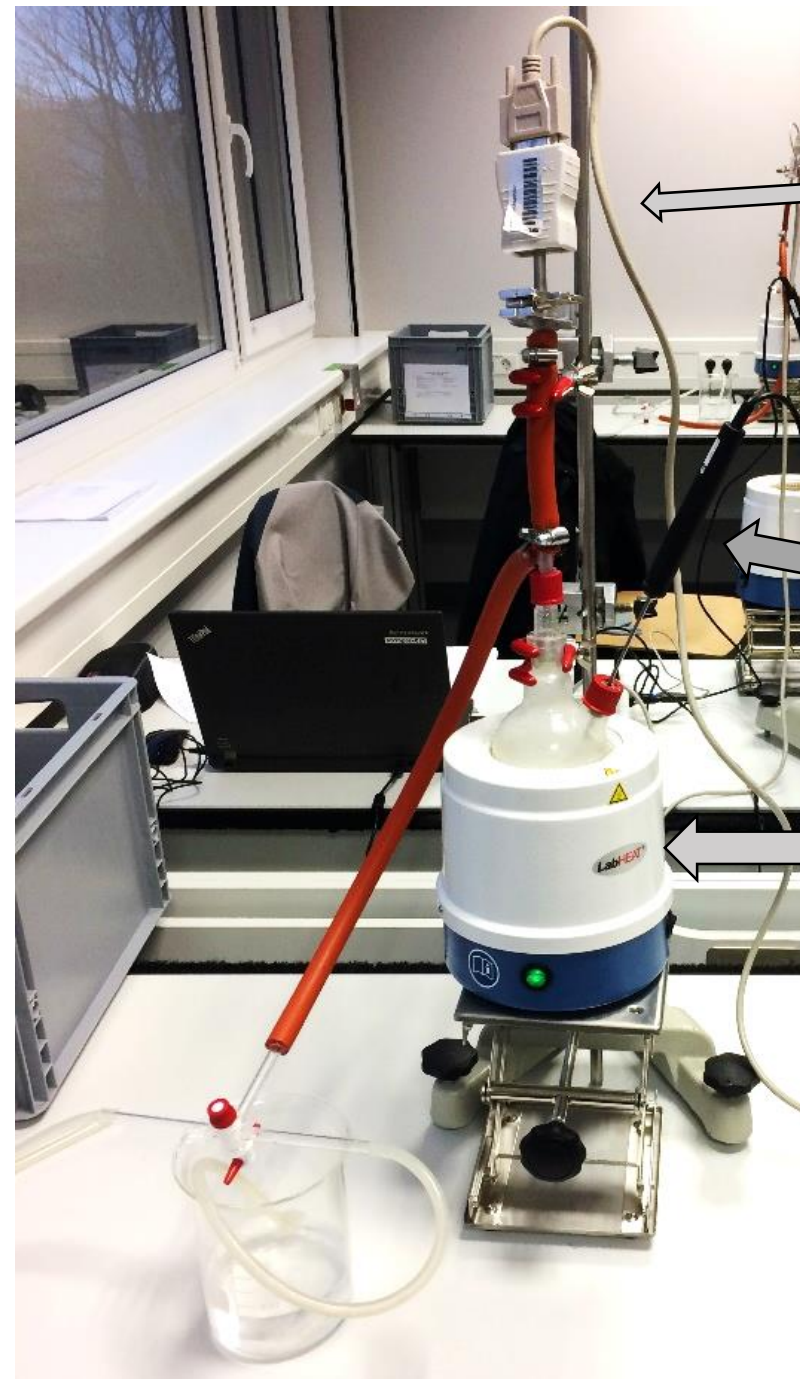
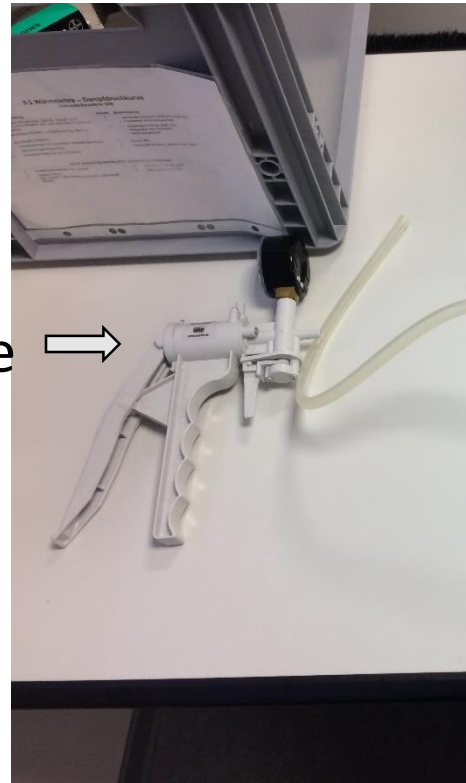


Inhalt

- Aufbau
- Vorversuche:
 - Rauschmessung von Temperatur & Druck
 - Kalibrierung des Temperatursensors
 - Kalibrierung des Drucksensors
 - Gasdichtigkeit des Aufbaus
- Hauptversuch
 - Messung der Dampfdruckkurve
- Fazit

Aufbau und Versuchsdurchführung

Handpumpe

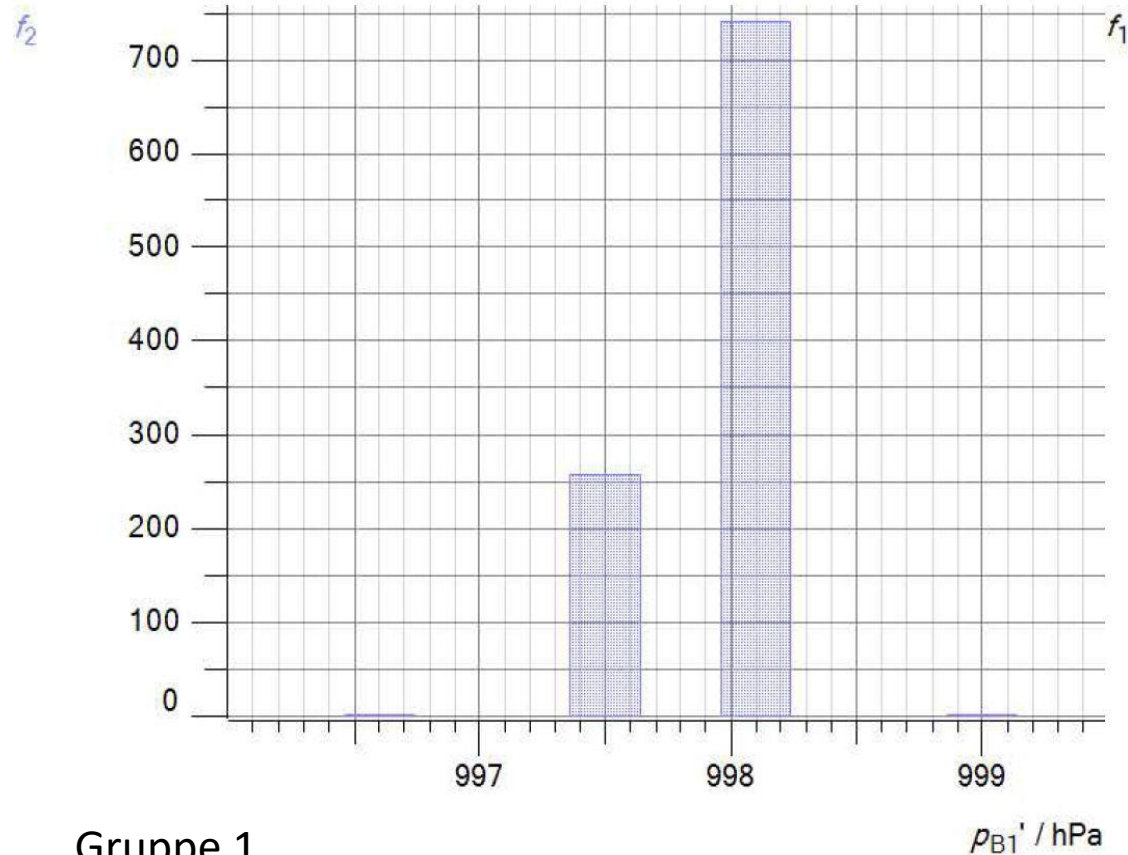


Drucksensor

Thermometer

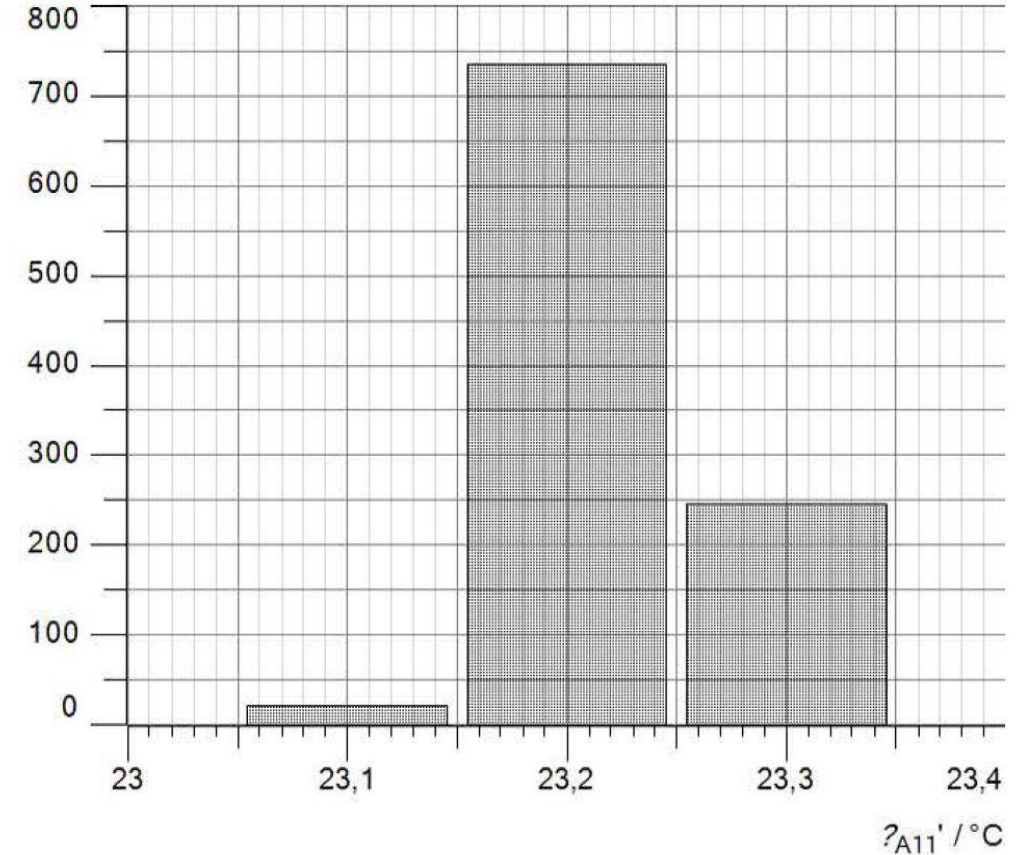
Heizpilz

Rauschmessung Temperatur und Druck



Gruppe 1

Unsicherheit auf	Gruppe 1	Gruppe 2
Druck [hPa]	0.3320	0.3472
Temperatur [K]	0.0469	0.0319



	Gruppe 1	Gruppe 2
Messintervall	1 ms	50 ms
Anzahl Messungen	1001	21
Messdauer	1 s	1 s

Kalibrierung des Drucksensors

- Gemessene Werte werden durch Vergleich mit Wetterstation um Offset korrigiert.

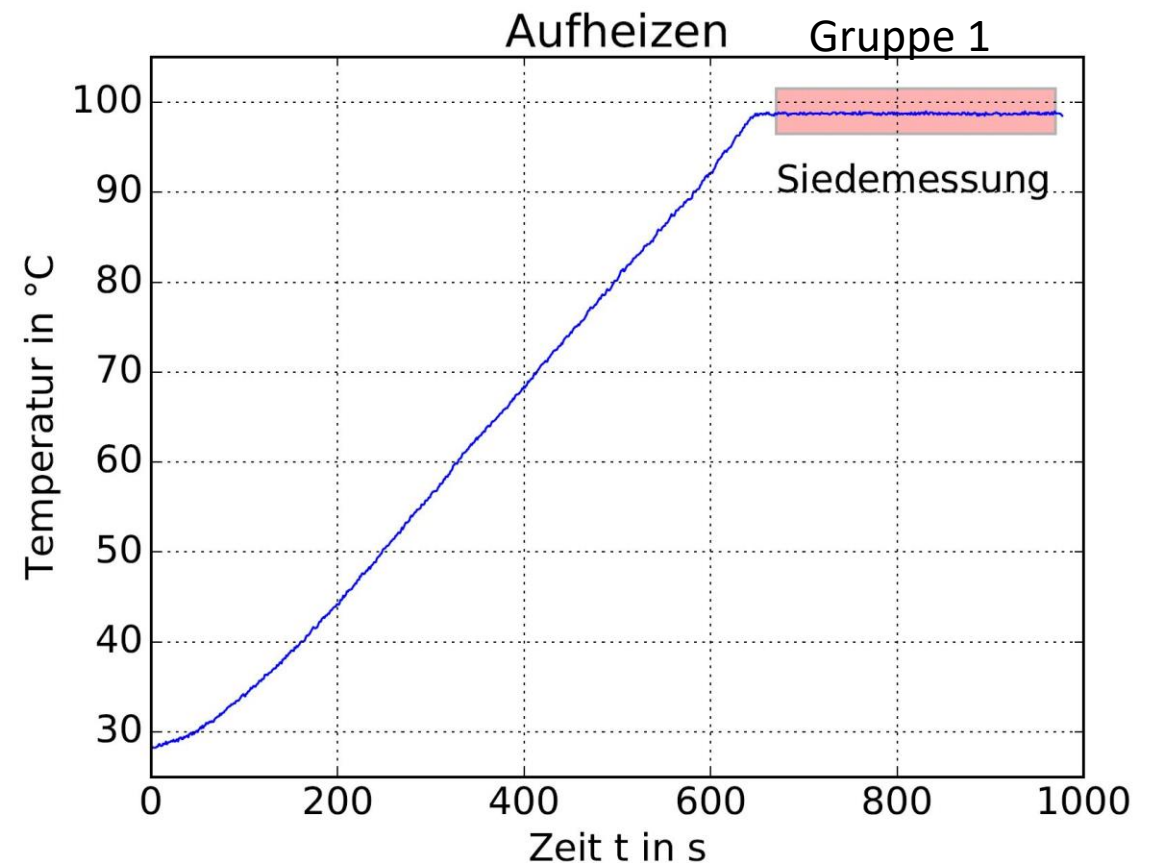
	Gruppe 1	Gruppe 2
gemessener Druck [hPa]	998.1	972.2
Offset [hPa]	18.0	-7.9

Kalibrierung des Temperatursensors

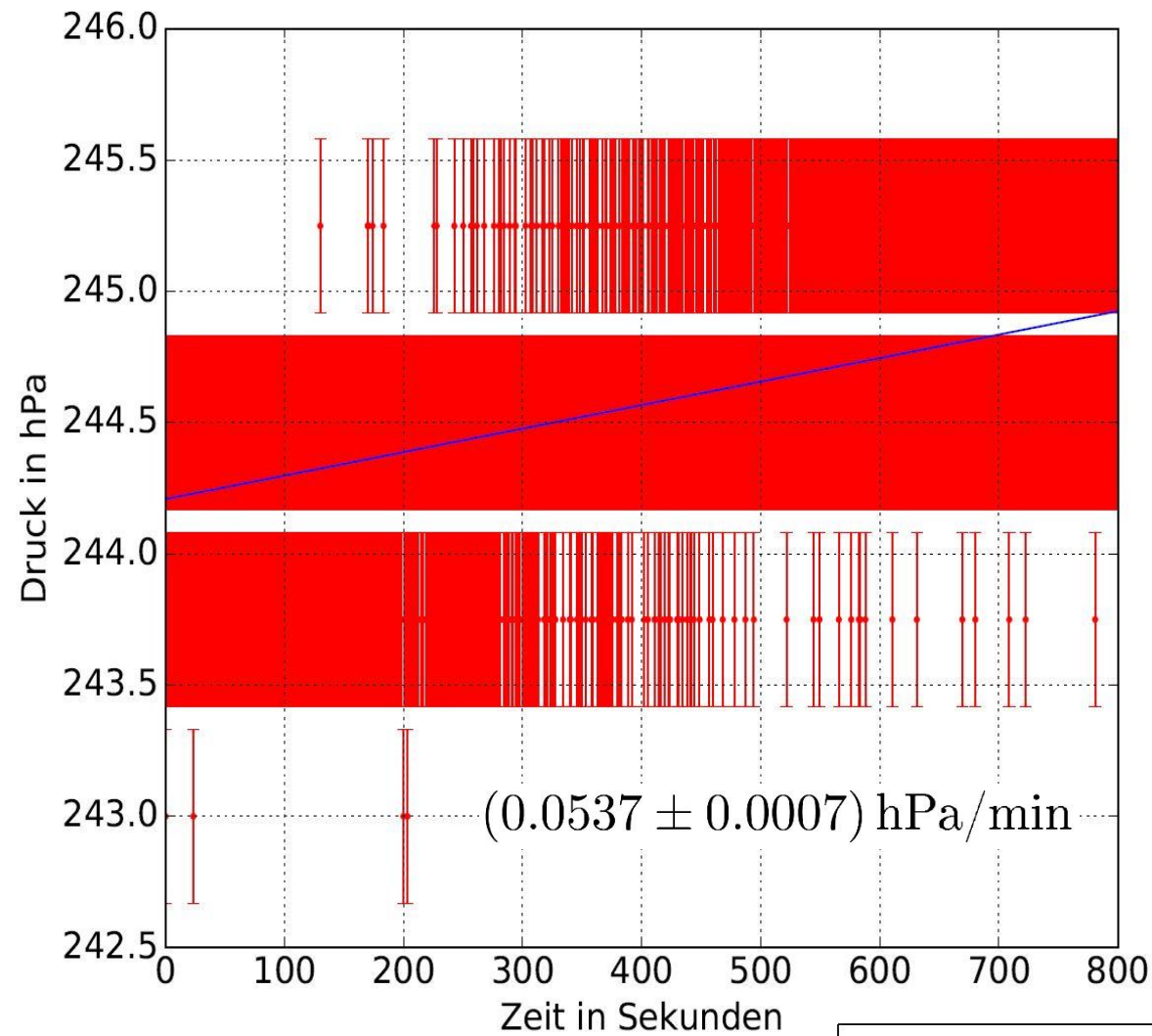
$$T = 273.15\text{K} + \frac{t_{\text{Siede}} - t_{\text{Schmelz}}}{t_{\text{Siede}}^{\text{unk.}} - t_{\text{Schmelz}}^{\text{unk.}}} \cdot (t^{\text{unk.}} - t_{\text{Schmelz}}^{\text{unk.}})$$

Gruppe 1	Temperatur [°C]	Fehler [°C]
Schmelzen	0.717	0.0264
Sieden	98.734	0.0059

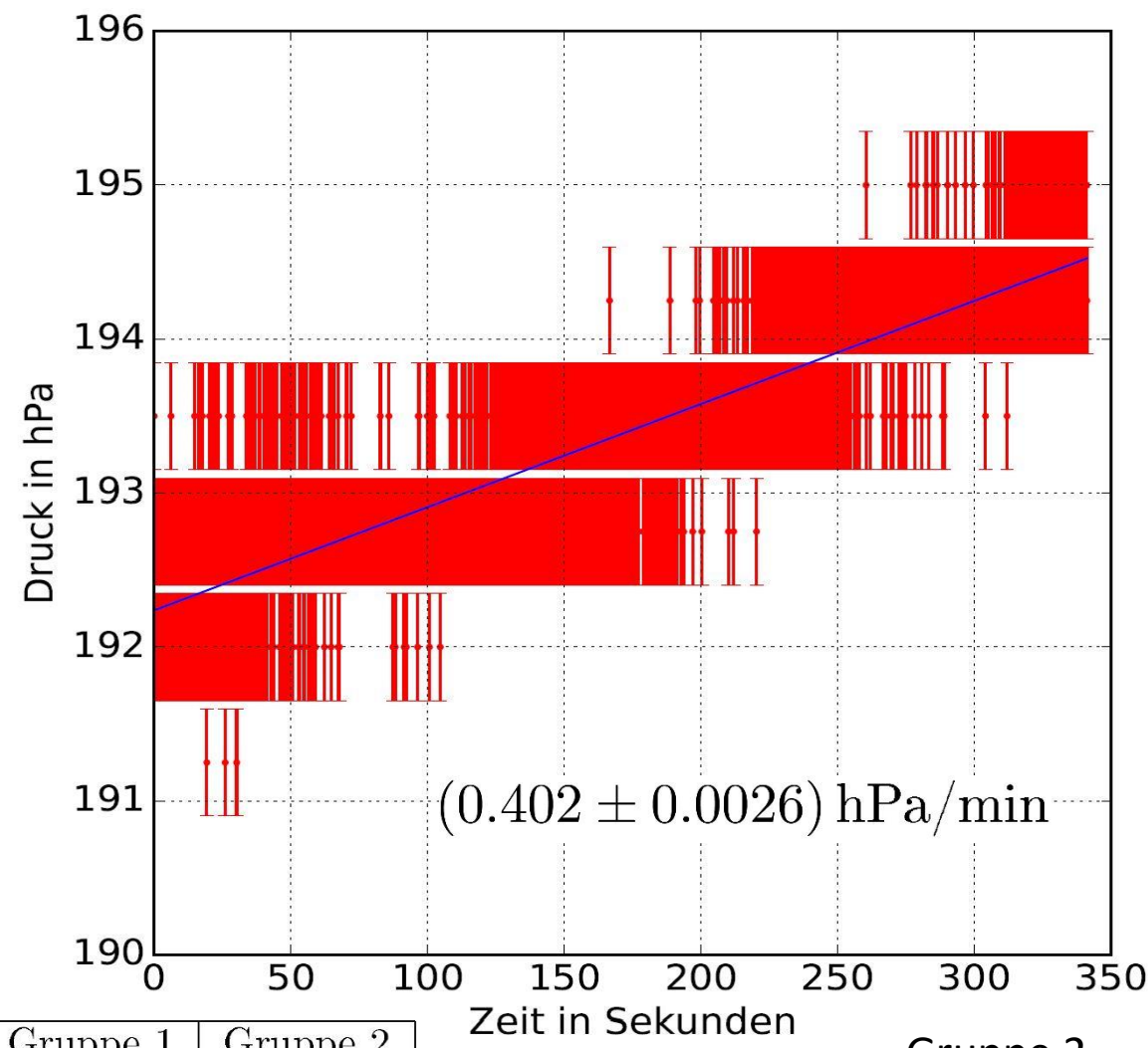
Gruppe 2	Temperatur [°C]	Fehler [°C]
Schmelzen	2.267	0.0306
Sieden	98.566	0.0128



Gasdichtigkeit des Aufbaus



Gruppe 1



Gruppe 2

	Gruppe 1	Gruppe 2
Messintervall	50 ms	50 ms
Anzahl Messungen	16 000	6823
Messdauer	799.961 s	341.116 s

Messung der Dampfdruckkurve - Theorie

Im Kreisprozess gilt: $\Delta U = 0$

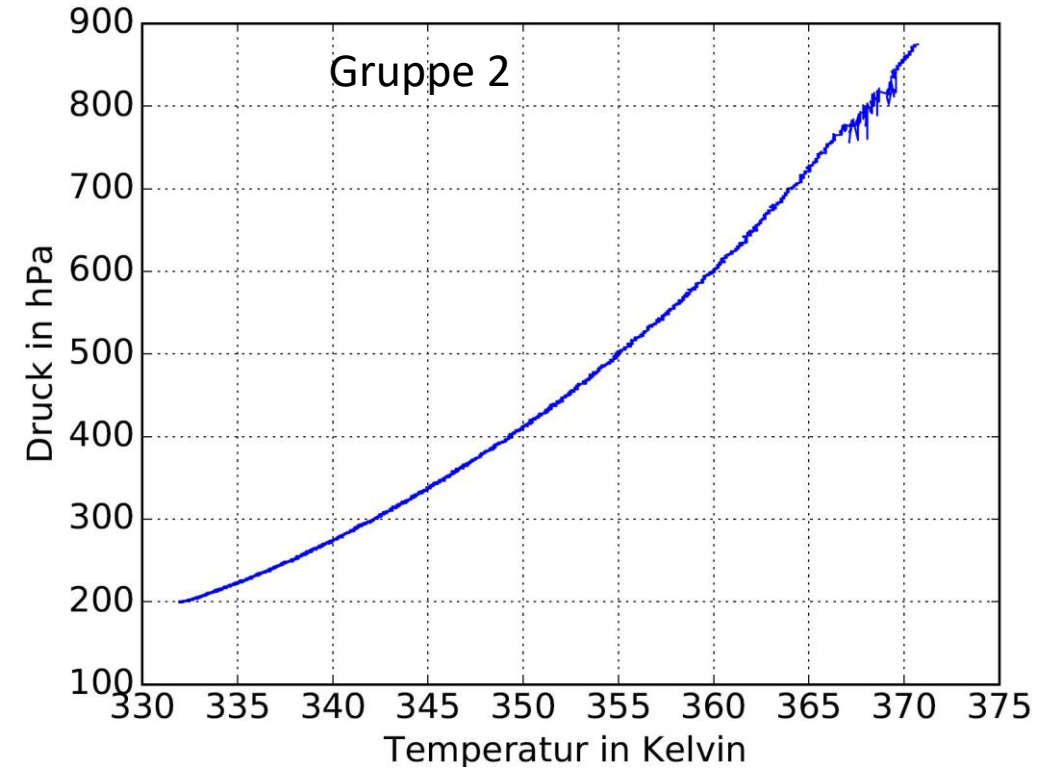
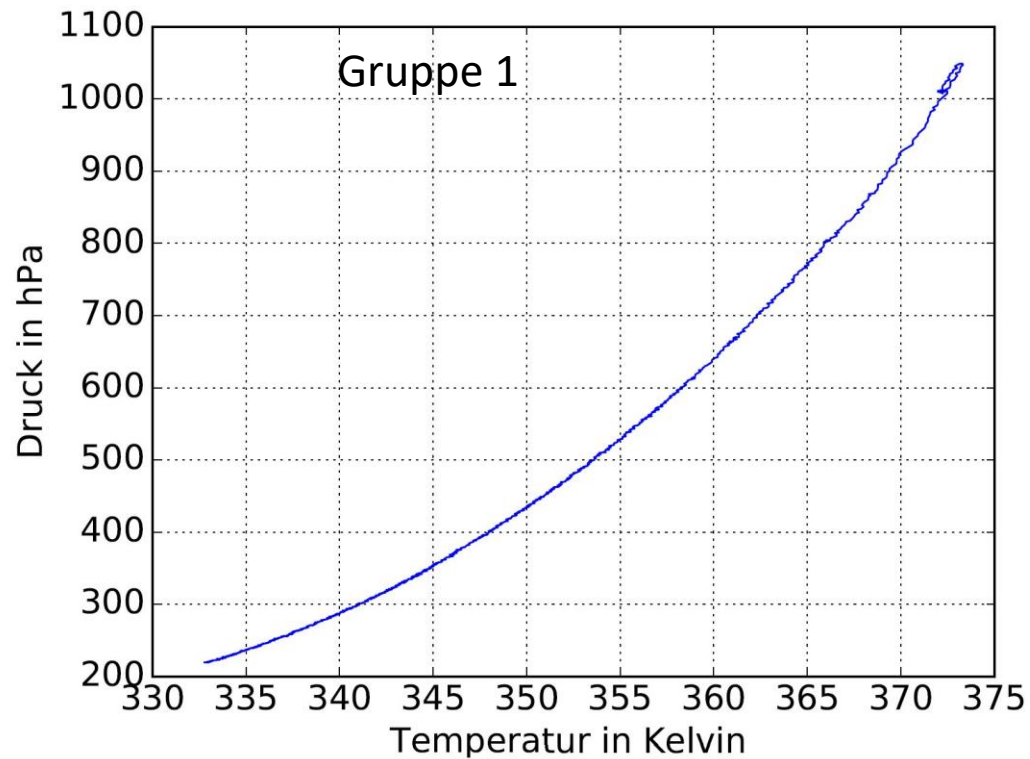
Erster Hauptsatz $\rightarrow \Delta U = \Delta Q + \Delta A = \Delta Q - p dV = 0$

Zweiter Hauptsatz $\rightarrow \oint \frac{\Delta Q}{T} = 0$

→ Clausius – Clapeyron Gleichung

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\nu \Lambda}{T(V_1 - V_2)} \xrightarrow{V_1 - V_2 \approx V_{\text{gas}}} \ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{\Lambda}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

Messung der Dampfdruckkurve - Rohdaten



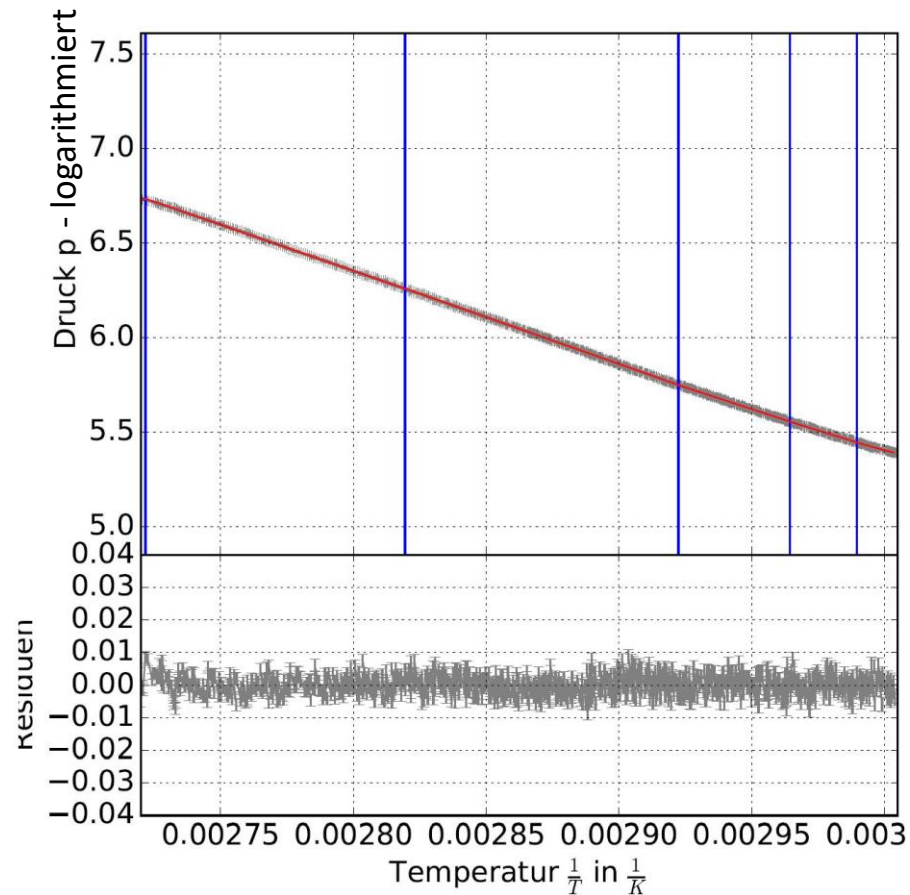
	Gruppe 1	Gruppe 2
Messintervall	1 s	100 ms
Anzahl Messungen	1364	12 719
Messdauer	1363.001 s	1271.804 s

Messung der Dampfdruckkurve – Regression

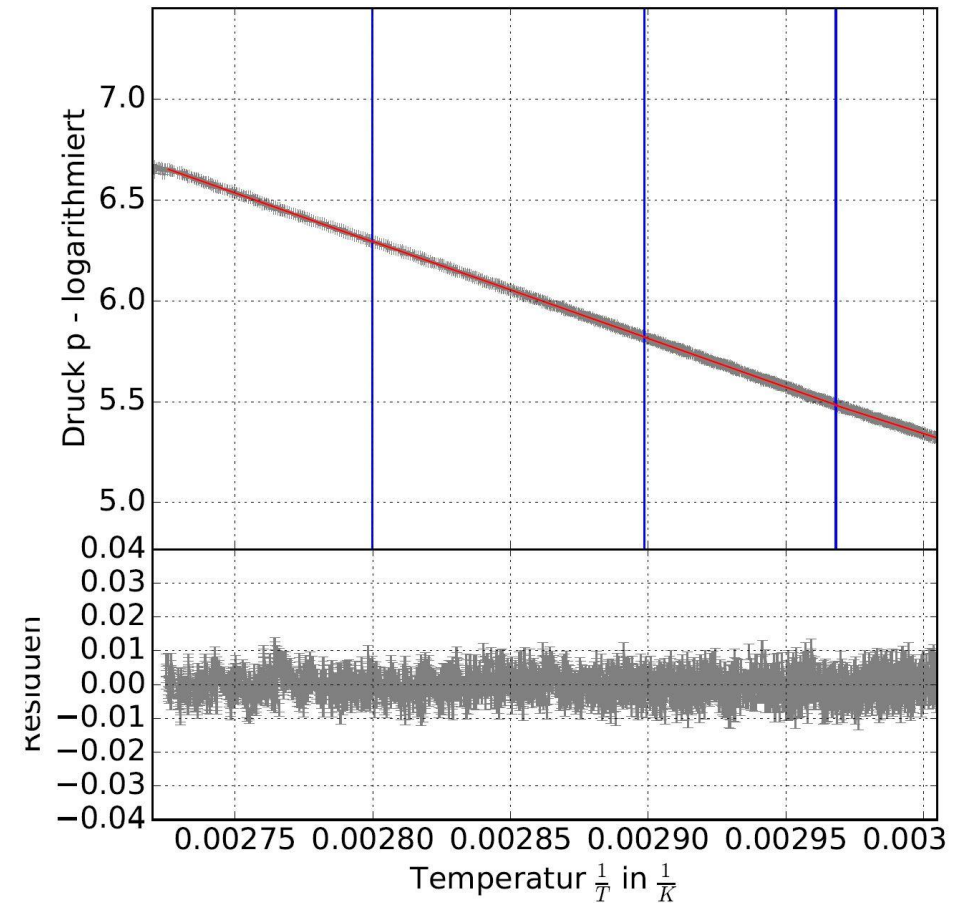
$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{\Lambda}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

$$\Lambda(T) = -a \cdot R$$

$$R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

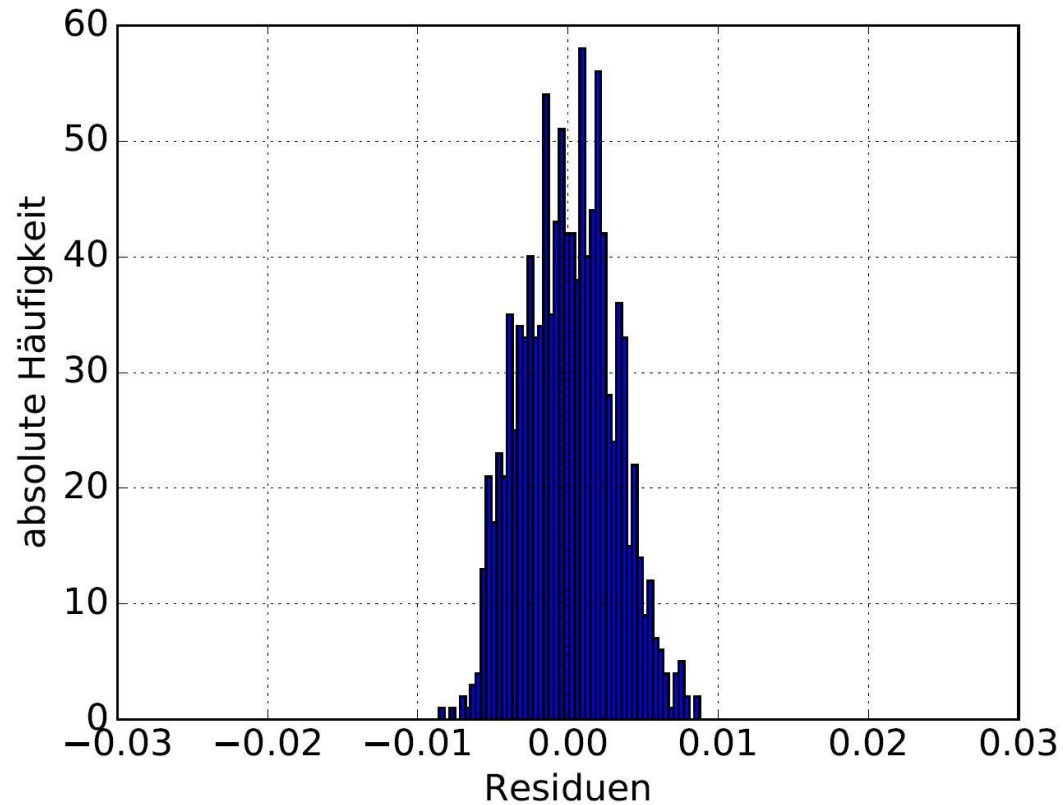


Gruppe 1

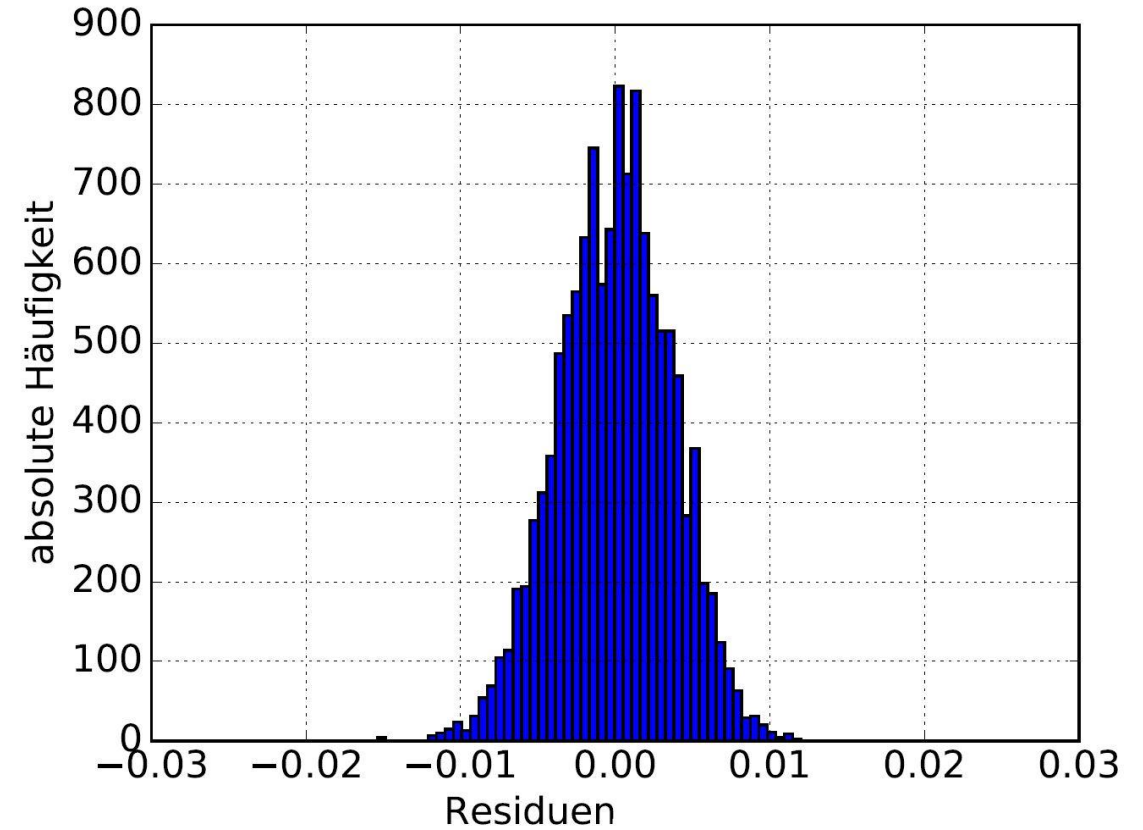


Gruppe 2

Messung der Dampfdruckkurve – Regression

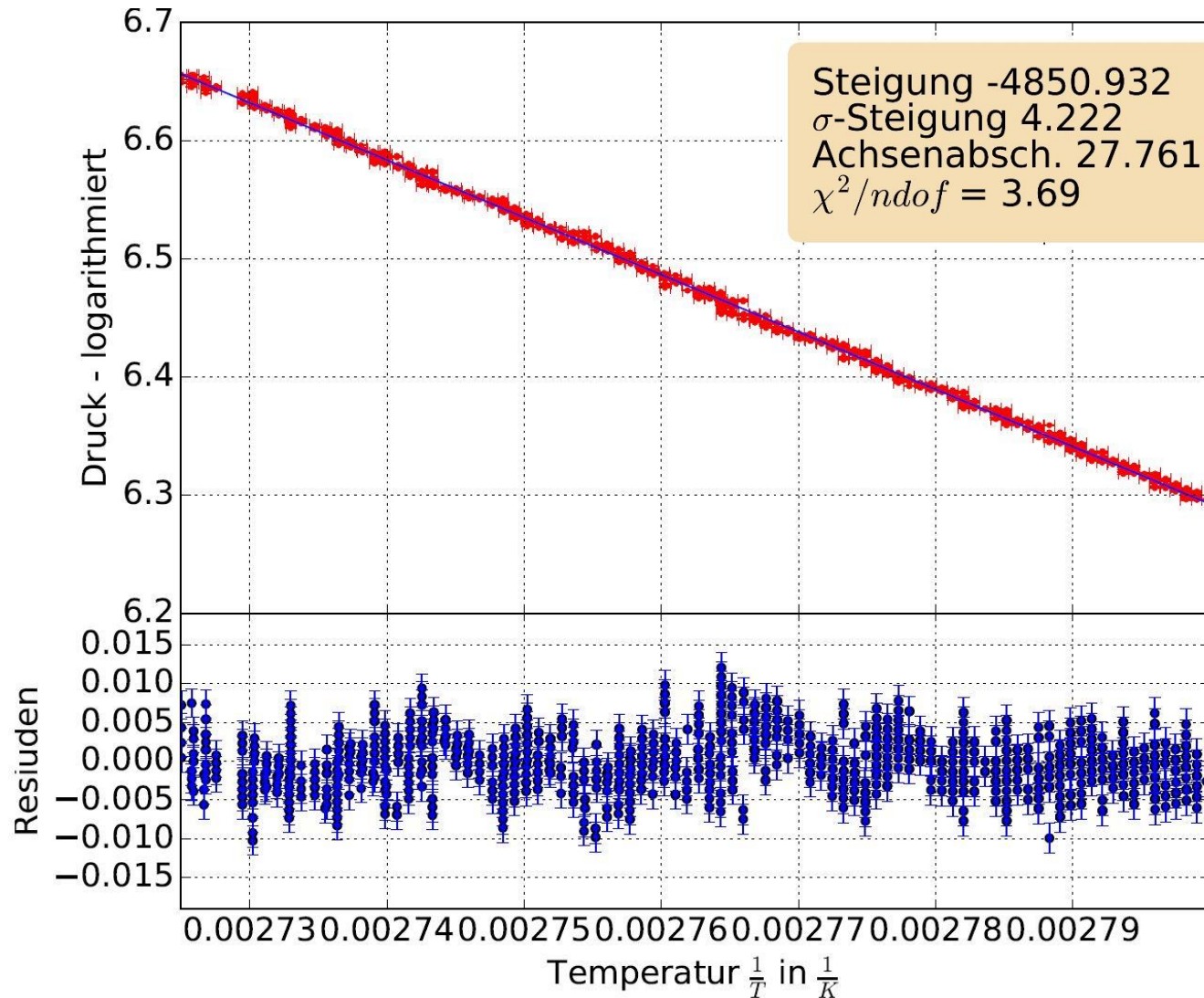


Gruppe 1



Gruppe 2

Messung der Dampfdruckkurve – Zoom in Regression

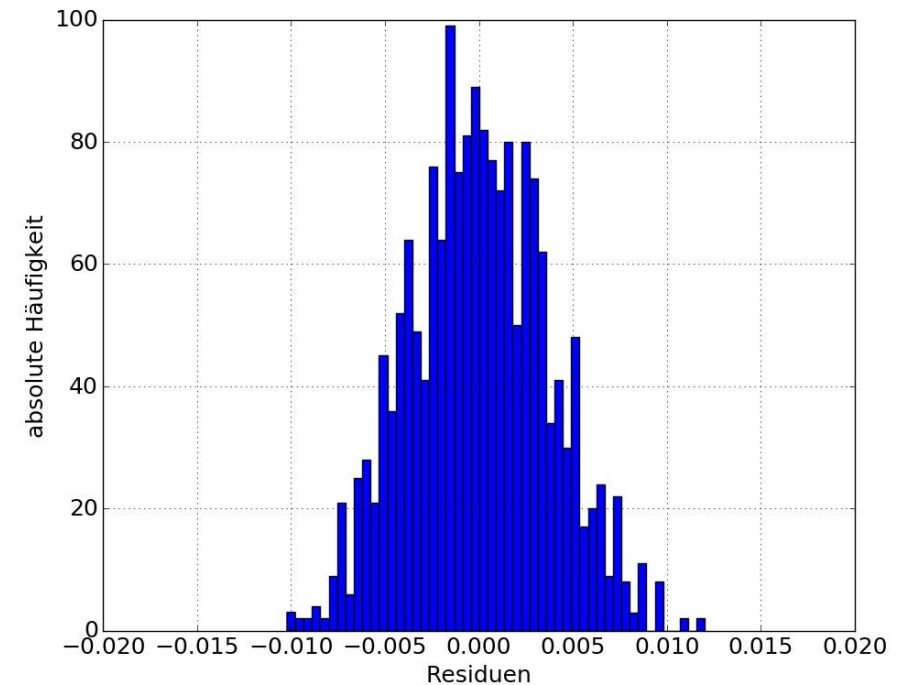


Gruppe 2

Bereich	$T_{start}[K]$	$T_{ende}[K]$	$\Lambda \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	$\sigma_{stat} \left[\frac{kJ}{mol} \right]$
1	366.87	357.17	40.331	0.0351

Theoriewerte →

T [°C]	80	90	100
T[K]	353.15	363.15	373.15
$\Lambda \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	41.58	40.87	40.63



Messung der Dampfdruckkurve - Fehlerrechnung

$$\sigma_{\ln(p)} = \frac{1}{p} \cdot \sigma_p$$

$$\sigma_{\frac{1}{T}} = \frac{1}{T^2} \cdot \sigma_T$$

$$\sigma_{\Lambda} = R \cdot \sigma_a$$

$$T = T \pm T_{sys}$$

$$\sigma_{\Lambda,sys} = \frac{\Delta_{plus} + \Delta_{minus}}{2}$$

$$\Delta_{minus} = |\Lambda - \Lambda_{minus}|$$

$$\Delta_{plus} = |\Lambda - \Lambda_{plus}|$$

Messung der Dampfdruckkurve - Ergebnisse

	Gruppe 1							
Bereich	$T_{start}[K]$	$T_{ende}[K]$	$\Lambda \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	$\sigma_{stat} \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	$\sigma_{syst} \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	χ^2	n	$\chi^2/ndof$
1	372.89	367.41	43.381	0.2988	0.4511	209.173	62	3.374
2	367.41	354.68	40.535	0.0542	0.8432	692.352	266	2.603
3	354.68	342.19	41.251	0.0441	1.2873	870.581	402	2.166
4	342.19	337.34	38.323	0.1399	1.5944	337.499	198	1.705
5	337.34	334.49	35.900	0.2944	1.8622	180.495	120	1.504
6	334.49	333.01	31.827	0.7660	1.9549	102.737	63	1.631

	Gruppe 2							
Bereich	$T_{start}[K]$	$T_{ende}[K]$	$\Lambda \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	$\sigma_{stat} \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	$\sigma_{syst} \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	χ^2	n	$\chi^2/ndof$
1	366.87	357.17	40.331	0.0351	0.4326	6789.671	1750	3.88
2	357.17	345.00	39.938	0.0171	0.8569	11334.632	3675	3.084
3	345.00	336.91	40.172	0.0225	1.2926	8935.004	4045	2.209
4	336.91	331.98	36.498	0.0478	1.5645	7461.005	2949	2.53

Literaturwerte

$T [^{\circ}C]$	60	70	80	90	100
$T[K]$	333.15	343.15	353.15	363.15	373.15
$\Lambda \left[\frac{kJ}{mol} \right]$	42.48	42.03	41.58	40.87	40.63

Messung der Dampfdruckkurve – Mögliche Fehlerquellen

- Zu schnelles Abkühlen:
 - Wasser-Wasserdampf-Gemisch ist nicht im Gleichgewicht
- Versuchsaufbau undicht bei Gruppe 2
- Systematischer Fehler bei Kalibration des Temperatursensors

Fazit

- Dampfdruckkurve entspricht qualitativ unseren Erwartungen
- $\Lambda(T)$ stimmen mit Theorie für mindestens einen Bereich innerhalb der Fehler überein
- Enthalpiewerte fallen statt steigen mit sinkender Temperatur