

INHALT

Reales Gas

1. Allgemeines

Teilnehmer

- Protokoll: Anna-Maria Pleyer
- Messung: Paul Schwanitz
- Auswertung: Dominik Müller

Ort

Universität Bayreuth, NW II

Raum

2.2.02.692

Datum

13.01.2021

Versuchsort

einziger im Raum

Gruppe:

6

✓

2. Einleitung:

Die Untersuchung von Gasen und Flüssigkeiten spielt sowohl in der modernen Technik, als auch in der Physik eine wichtige Rolle.

Die naturgetreue Beschreibung von Gasen ist nicht immer einfach, da die intermolekulare Wechselwirkung schwer zu charakterisieren ist.

Der einfachste Fall, den Zusammenhang zwischen Volumen, Druck und Temperatur darzustellen, ist die ideale Gas-Gleichung. Diese Art des Beschreibungsmodells ist jedoch sehr vereinfacht und idealisiert. Eine gute Näherung des "wahren" Beschreibungsmodells ist die van-der-Waals-Gleichung. Sie beschreibt vor allem das Verhalten am Phasenübergang (gasförmig-flüssig) mathematisch genauer.

In diesem Versuch soll das Gas Schwefelhexafluorid untersucht werden.

Schwefelhexafluorid ist eine anorganische chemische Verbindung aus den Elementen Schwefel und Fluor mit der Summenformel SF_6 .

Das Ziel des Versuches ist, dass das Gas und die verschiedenen Zustandsgrößen, sowie das Verhalten in der Nähe des kritischen Punktes genauer betrachtet wird.

V

3. Fragen zur Vorbereitung

3.1 Frage 1

Die ideale Gasgleichung lautet:

$$p(V, T) = \frac{v^f RT}{V} \quad (1)$$

- p: Druck
- V: Volumen
- T: absolute Temperatur
- R: Molare Gasgleichung

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

- v^f: Molare Masse des Gases

$$v^f = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$$

Bei der idealen Gas-Gleichung geht man von einer Vielzahl von ungeordneten Teilchen aus und vernachlässigt dabei die intermolekulare Wechselwirkung. Obwohl dieses Modell eine starke Vereinfachung darstellt, lassen sich mit ihm viele thermodynamische Prozesse von Gasen verstehen und mathematisch beschreiben.

Wichtig ist allerdings, dass die Zustandsgrößen nicht unabhängig voneinander sind.

Im Folgendem wird eine abgeschlossene Gasmenge behandelt, und v^f wird als konstant angenommen.

Mit dieser Annahme, kann man aus der Formel erkennen, dass es einen linearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Volumen gibt. Diesen Zusammenhang nennt man auch Gesetz von Charles:

$$V = \frac{VR}{P} \cdot T \rightarrow V \sim T$$

✓

Wie man sieht steigt die Temperatur, wenn das Volumen vergrößert wird, wenn zusätzlich der Druck als konstant angenommen wird.

Es gibt noch weitere Betrachtungsmöglichkeiten: Wenn man nun die Temperatur konstant hält, kann man das Gesetz von Boyle-Mariotte erkennen:

$$p(V) = \underbrace{\frac{v}{R} RT}_{\text{const.}} \cdot \frac{1}{V}$$

✓

$$p \sim \frac{1}{V}$$

Bei derartigen isothermen Zustandsänderungen ist das Volumen V der Gasmenge umgekehrt proportional zum Druck.

Wenn man nun das Volumen verkleinert, dann steigt der Druck, da die gemittelte Weglänge des Teilchen kleiner wird und diese somit häufiger auf die Wände treffen, was den Druck steigen lässt.

Nun muss noch betrachtet werden, was geschieht wenn das Volumen konstant ist.

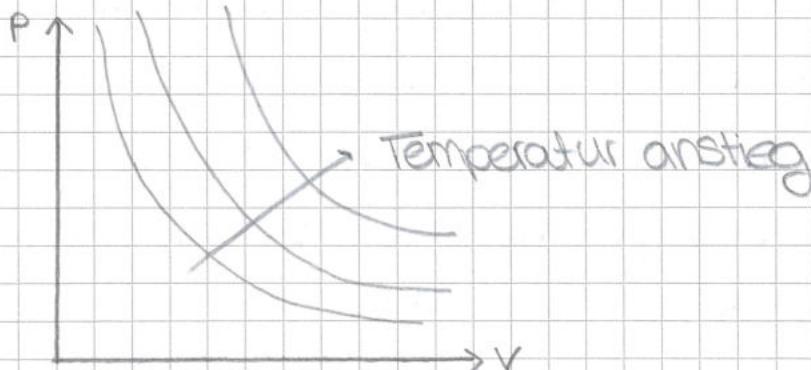
Das Gesetz von Gay-Lussac:

Hierbei handelt es sich um eine isochore Zustandsänderung.

$$p(T) = \frac{V \cdot R}{V} \cdot T \rightarrow p(T) \sim T$$

Es stellt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Druck und der Temperatur ein.

Anschaulich bedeutet dies, dass die Teilchen bei höherer Temperatur eine höhere kinetische Energie besitzen, wodurch diese einen höheren Impuls auf die Wände ausüben, somit steigt der Druck.



3.2 Frage 2

Wie bereits erwähnt, kann die ideale Gasgleichung nicht immer das Verhalten bestmöglich beschreiben.

Ein Gebiet indem sie versagt ist, z.B. der Phasenübergang von flüssig zu gasförmig. Eine von mehreren Möglichkeiten das Verhalten von realen Gasen näherungsweise zu beschreiben stammt von J. van der Waals, hierbei wird die intermolekulare Wechselwirkung mit berücksichtigt.

Die ideale Gasgleichung (1) muss also verändert werden, dazu müssen zwei wesentliche Gedanken berücksichtigt werden:

- Abstoßende Wechselwirkung:

Die abstoßende Wechselwirkung verhindert die Annäherung zweier Moleküle unter einem bestimmten Mindestabstand. Daher kann sich ein Molekül nur in einem bestimmten Teil des Volumens bewegen. Die Volumeneinschränkung ΔV ist proportional zur Molzahl v .

$$\Delta V = v \cdot b$$

b ist die Proportionalitätskonstante zwischen dem Ausschlussvolumen ΔV und der Anzahl der vorhandenen Moleküle und kann anschaulich als das Eigenvolumen der Moleküle interpretiert werden.

Die Gleichung (1) muss bzgl. des Ausschlussvolumen modifiziert werden.

$$P = \frac{nRT}{V - \Delta V} = \frac{nRT}{V - vb}$$

Für den Grenzfall $V \gg V_b$ geht die Gleichung wieder in die ideale Gas-Gleichung (1) über.

• Anziehende Wechselwirkung:

Die anziehende Wechselwirkung der Moleküle verlangsamt deren mittlere Geschwindigkeit.

Dadurch kommt es zu Druckabnahme Δp , da die Moleküle nun seltener und schwächer auf die Wand treffen. Es muss ein Parameter (a) eingeführt werden, der die gegenseitige Anziehung der Moleküle, aufgrund des Van-der-Waals und London-Kräfte, beschreibt.

$$\Delta p = a \left(\frac{V}{V} \right)^2$$
$$\Rightarrow p = \frac{V R T}{V - \Delta V} - \Delta p$$

Damit ergibt sich die Van-der-Waals Gleichung:

$$p(V, T) = \frac{V R T}{V - V_b} - a \left(\frac{V}{V} \right)^2$$

Die Van-der-Waals Gleichung enthält, über die ideale Gasgleichung hinausgehend, zwei Parameter (a, b) für die abstoßende und anziehende Wechselwirkung zwischen den Gasteilchen. Diese Parameter sind empirisch und sind charakteristisch für das jeweilige Gas.

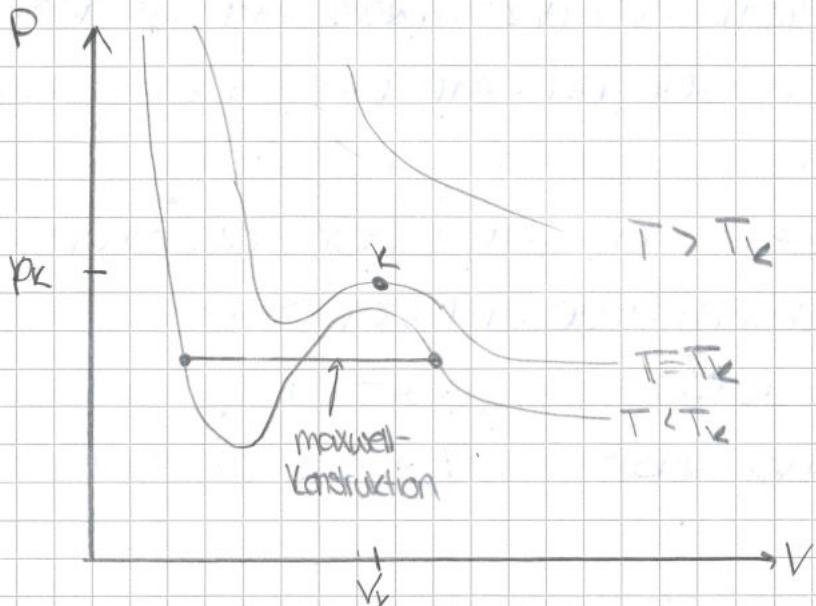
Anschauliche Definition des idealen Gas:

Wie jedes Modell, ist auch das Modell des idealen Gas eine Vereinfachung der Wirklichkeit.

Veranschaulichen kann man sich das Modell durch sehr kleine, hochelastische Kugeln, die sich in einem abgeschlossenen Raum befinden und folgenden Eigenschaften erfüllen:

- Teilchen des Gases sind Massepunkte, d.h. sie haben eine Masse aber kein Volumen.
- zwischen den Teilchen treten keine anziehende und abstoßende Kräfte auf
- Die Stöße zwischen den Teilchen untereinander, sowie mit den Wänden des Gefäßes sind vollkommen elastisch.

P-V-Diagramm für Isotherme:



Wenn man die Abbildung der van-der-Waals-Gleichung genauer betrachtet fällt auf, dass es eine kritische Temp. (Aufgabe 3) gibt:

- $T > T_c$:

Die van-der-Waals-Gleichung geht in die ideale Gasgleichung über.

- $T < T_c$:

Man findet das typische Verhalten des idealen Gases nur für große Volumen, als $T \ll T_c$.

Die Van-der-Waals-Gleichung ist also in der Lage den Phasenübergang (gasförmig-flüssig) zu beschreiben.

Jedoch nicht den Übergangsbereich an sich. Hierzu benötigt man die Maxwell-Konstruktion (Aufgabe 4).

3.3 Frage 3

Nun soll der kritische Punkt berechnet werden:
 Hierzu muss die Bedingung für einen Wendepunkt erfüllt sein, d.h. die erste und zweite Ableitung der van-der-Waals-Gleichung muss gleich null gesetzt werden:

$$\frac{dp}{dv} = -\frac{vRT_k}{(v_k - vb)^2} + \frac{2av^2}{v_k^3} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\frac{d^2 p}{dv^2} = \frac{2vRT_k}{(v_k - vb)^3} - \frac{6av^2}{v_k^4} \stackrel{!}{=} 0$$

Durch umstellen des zweiten Ableitungen, auf lösen und einsetzen erhält man die kritischen Daten:

$$P_k = \frac{a}{27b^2}$$

Recht?

$$V_k = 3vb$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}$$

Für ein bestimmtes Gas sind die Größen a und b Konstanten. Daher ist nur das kritische Volumen V_k abhängig von der Stoffmenge n , da V_k abhängig von v ist.

Sind aber auch a, b abhängig!

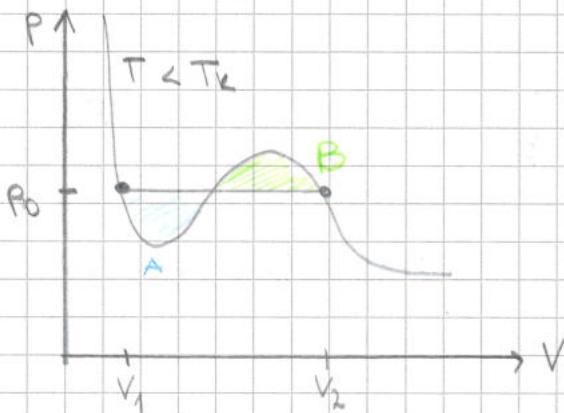
3.4 Frage 4

Nun soll betrachtet werden, was passiert wenn man in einem Gefäß, das Volumen eines Gases, immer weiter verringert.

1. $T > T_k$:

Die Van-der-Waals Isotherme gleichen oberhalb der kritischen Temperatur weitgehend denen eines idealen Gases.
Es kann also nicht verflüssigt werden.

2. $T < T_k$:



- Bei einem großen Volumen ($V \geq V_2$) findet man das typische gasförmige Verhalten des Druckes bei Volumenänderung.

- Den Übergangsbereich ($V_1 < V < V_2$) muss man genauer betrachten:

Hier bleibt der Druck konstant, trotz weiterer Kompression. Dieser Druck wird als Dampfdruck p_0 bezeichnet. In diesem Gebiet befinden sich die gasförmige und die flüssige Phase im Gleichgewicht. Also liegt in diesem Bereich die Substanz sowohl als Gas (oben), als auch als Flüssigkeit (unten) vor.

- Bei einem kleinen Volumen ($V < V_1$) zeigt sich ein starker Druckanstieg bei nur kleiner Volumenänderung, d.h. das ganze Gas ist in die flüssige Phase übergegangen. (Flüssigkeiten kann man nicht komprimieren).

Wie man aus der Graphik erkennt, durchläuft die van-der-Waals Gleichung im Übergangsberich ein Maximum und Minimum.

Wie gerade erläutert ist dies jedoch falsch, des Kurvenverlauf müsste eine Gerade sein, dies wird mithilfe der sogenannten Maxwell-Konstruktion berichtigt.

Die reale Isotherme wird so konstruiert, dass die Flächen oberhalb (Fläche B) und unterhalb (Fläche A) der Geraden gleich groß sind.

Kennt man den Dampfdruck p_{d1} bei einer Temperatur T_1 und die Verdampfungsetthalpie ΔH_{vap}° der Substanz, so kann man den Dampfdruck p_{d2} bei einer Temperatur T_2 über die Clausius Clapeyron bestimmen:

$$\ln\left(\frac{p_{d2}}{p_{d1}}\right) = -\frac{\Delta H_{vap}^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Ergebnis?

3.5 Frage 5.

Es soll gezeigt werden, dass folgende Gleichung gilt:

$$\frac{s_{\text{fl}} - s_g}{s_k} = v_k \left(\frac{1}{v_{\text{fl}}} - \frac{1}{v_g} \right)$$

Mit dem Zusammenhang zwischen der Dichte und dem Volumen:

$$s = \frac{m}{V}$$

m beschreibt die Masse des Stoffes in dem Gefäß, die konstant ist:

$$\frac{s_{\text{fl}} - s_g}{s_k} = \frac{\frac{m}{v_{\text{fl}}} - \frac{m}{v_g}}{\frac{m}{v_k}} = v_k \left(\frac{1}{v_{\text{fl}}} - \frac{1}{v_g} \right) \quad \checkmark$$

3.6 Frage 6

Quecksilber hat folgende Vorteile:

- In Glasröhren tritt bei Quecksilber kein Kapillareneffekt auf, d.h. man kann genauer ablesen.
- Keine Absorption des Gases und schlechte Reaktionsfähigkeit
- Bei Raumtemperatur ist der Dampfdruck sehr gering, d.h. es braucht nur einen geringen Druck damit Quecksilber flüssig ist. ✓
- Quecksilber ist gut sichtbar.
- Quecksilber benetzt das Glas nicht, d.h. es bleiben keine Tropfen am Gas.

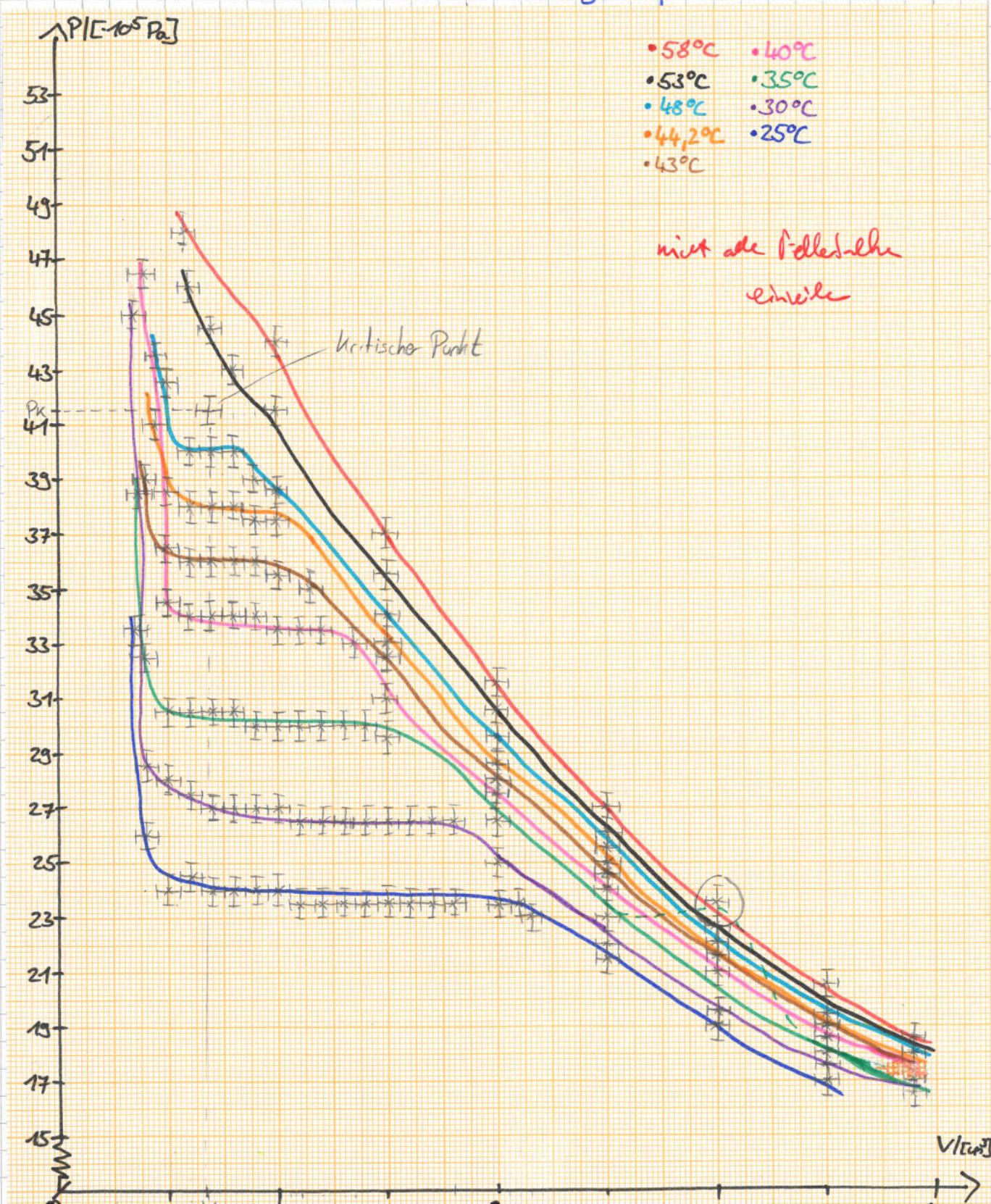
4. Auswertung

4.1 pV-Diagramm.

Die Werte für die Drücke in Abhängigkeit der eingestellten Volumens werden für jede Temperatur in ein Diagramm eingezeichnet.

Der Fehler des Volumens beträgt: $s_V = 0,05 \text{ cm}^3$

Der Fehler des Druckes beträgt: $s_p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass der Druck bei einem Volumen von 3cm^3 , bei 35°C nicht in den Verlauf der restlichen Graphen passt.

Deshalb wird hier auf einen großen Fehler gedopt und dieser Wert nicht beachtet.

4.2 Dampfkurve

Bei der Dampfkurve wird die Temperatur T gegen einen mittleren Druck \bar{p} aufgetragen.

Diesen mittleren Druck errechnet man aus den gemessenen Drücken des Zweiphasengebiets.

Der Anfang und das Ende des Gebiets wurden im Protokollbuch festgehalten.

Ab einer Temperatur von 48°C hat sich keine Flüssigkeit oder weißer Nebel mehr gebildet.

Der mittlere Druck \bar{p} wurde wie folgt errechnet:

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (p_i: \text{innerhalb des 2-Phasen Gebiets})$$

Der Fehler von \bar{p} ($s_{\bar{p}}$) wurde über Fehlerfortpflanzung bestimmt:

$$s_{\bar{p}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial p_j} \cdot s_p \right)^2}$$

$$= s_p \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial p_j} \right)^2} = s_p \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{n} \right)^2}$$

$$= \frac{s_p}{n} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n (1)}$$

$$= \frac{s_p}{n} \cdot \sqrt{n}$$

$$= \frac{s_p}{\sqrt{n}}$$

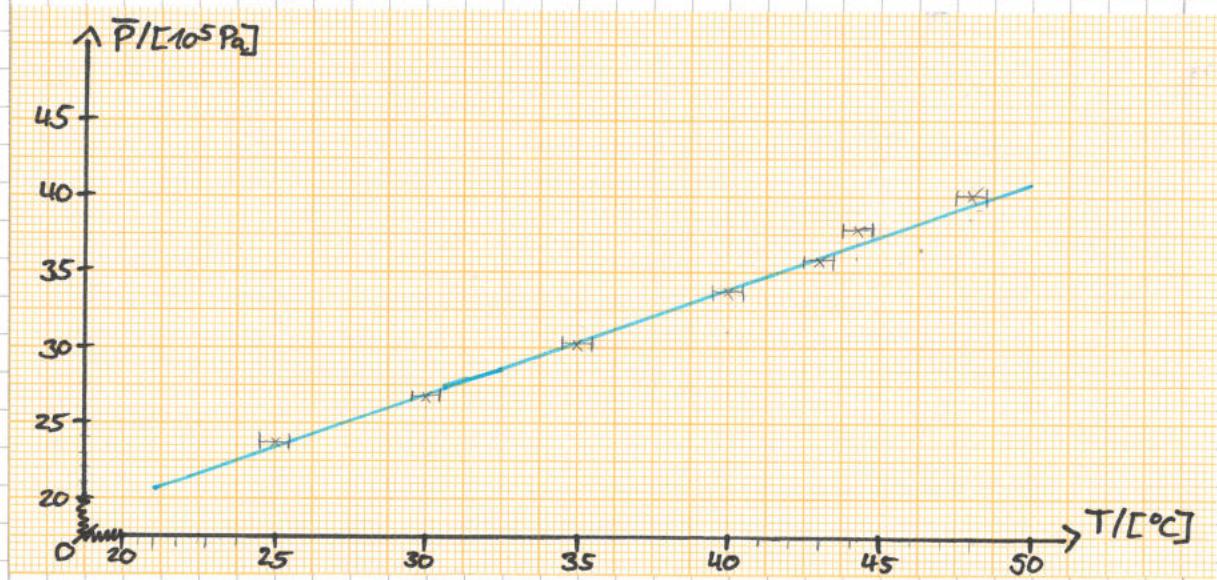
Den Fehler von T kann man aus dem Protokollbuch entnehmen:

$$s_T = 0,4^\circ\text{C}$$

Somit ergibt sich folgende Wertetabelle:

$T_c/^\circ\text{C}$	$\bar{p}/[10^5\text{ Pa}]$	$s_{T_c}/^\circ\text{C}$	$s_{\bar{p}}/[10^5\text{ Pa}]$
25,0	23,8	0,4	0,1
30,0	26,8	0,4	0,1
35,0	30,3	0,4	0,1
40,0	33,8	0,4	0,2
43,0	35,9	0,4	0,2
44,2	37,9	0,4	0,2
48,0	40,3	0,4	0,2

Daraus folgt diese Gerade:



(Literatur)

4.3 Kritische Werte

Der kritische Punkt spiegelt den Übergang von einem realen Gas, zum „idealen“ Gas wieder.

Dieser liegt im pV-Diagramm über den Maxwell-Konstruktionen. Von diesem ausgehend kann eine nach unten geöffnete Parabel gezeichnet werden, welche die Maxwell-Konstruktionen einschließt.

In unserer Kurve lässt sich über den kritischen Punkt sagen:

$$\underline{T_K = (51 \pm 2)^\circ\text{C}}$$

$$\underline{p_K = (41 \pm 0,5) \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

$$\underline{V_K = (0,7 \pm 0,1) \cdot \text{cm}^3}$$

| Gilden!

Nun werden die theoretischen Werte (T_k , p_k) berechnet.
 Dazu wurden in den Fragen zur Vorbereitung folgende Formeln hergeleitet:

$$p_k = \frac{a}{27b^2}$$

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}$$

Die Konstanten a,b wurden für 1 mol gegeben mit:

$$a = 0,786 \frac{\text{Nm}^4}{\text{mol}^2}$$

$$b = 88 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Somit folgt für die theoretischen Werte:

$$p_k = \frac{0,786 \text{ Nm}^4 \cdot \text{mol}^2}{27 \cdot (88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3)^2}$$

$$= 37,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_k = \frac{8 \cdot 0,786 \text{ Nm}^4 \cdot \text{mol}}{27 \cdot R \cdot 88 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{mol}^2}$$

$$= 318,3 \text{ K} \approx 45,15^\circ\text{C}$$

$$R \approx 8314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Beim Vergleich der gemessenen Werte mit den theoretisch zu erwarteten Werten fällt auf, dass diese nicht zusammen passen.

Da sowohl die kritische Temperatur als auch der kritische Druck höher sind als erwartet, kann man nicht von systematischen Fehlern ausgehen, da alle 3 Größen mit verschiedenen Messwerten gemessen wurden und es unwahrscheinlich ist, dass alle 3 Messgeräte falsch messen.

Daher wird hier von einen groben Fehler ausgegangen. *aber wieder!*

4.4 Virial Koeffizient $B(T)$ und verwendete Gasmenge

Für die Gasmenge folgt:

$$\lim_{\frac{1}{V} \rightarrow 0} pV = nRT$$

$$n = \lim_{\frac{1}{V} \rightarrow 0} \frac{pV}{RT}$$

Nun wird $\frac{1}{V}$ gegen pV aufgetragen und für $\frac{1}{V} \rightarrow 0$ extrapoliert. Somit kann die Molzahl für die einzelnen Temperaturen bestimmt werden.

Des Weiteren kann $B(T)$ bestimmt werden, indem die Steigung der Graphen abgelesen werden:

$$\lim_{\frac{1}{V} \rightarrow 0} \frac{\partial(pV)}{\partial(\frac{1}{V})} = nRT B(T)$$

$$\Leftrightarrow B(T) = \frac{\lim_{\frac{1}{V} \rightarrow 0} \frac{\partial(pV)}{\partial(\frac{1}{V})}}{n^2 RT}$$

Für den Fehler von $B(T)$ folgt:

$$s_{B(T)} = \sqrt{\left(n^2 \frac{1}{RT} s_{\frac{1}{V}}\right)^2 + \left(\frac{s}{n^3 RT} s_V\right)^2 + \left(\frac{s}{n^2 RT^2} s_T\right)^2}$$

$$\text{mit } s = \lim_{\frac{1}{V} \rightarrow 0} \frac{\partial(pV)}{\partial(\frac{1}{V})}$$

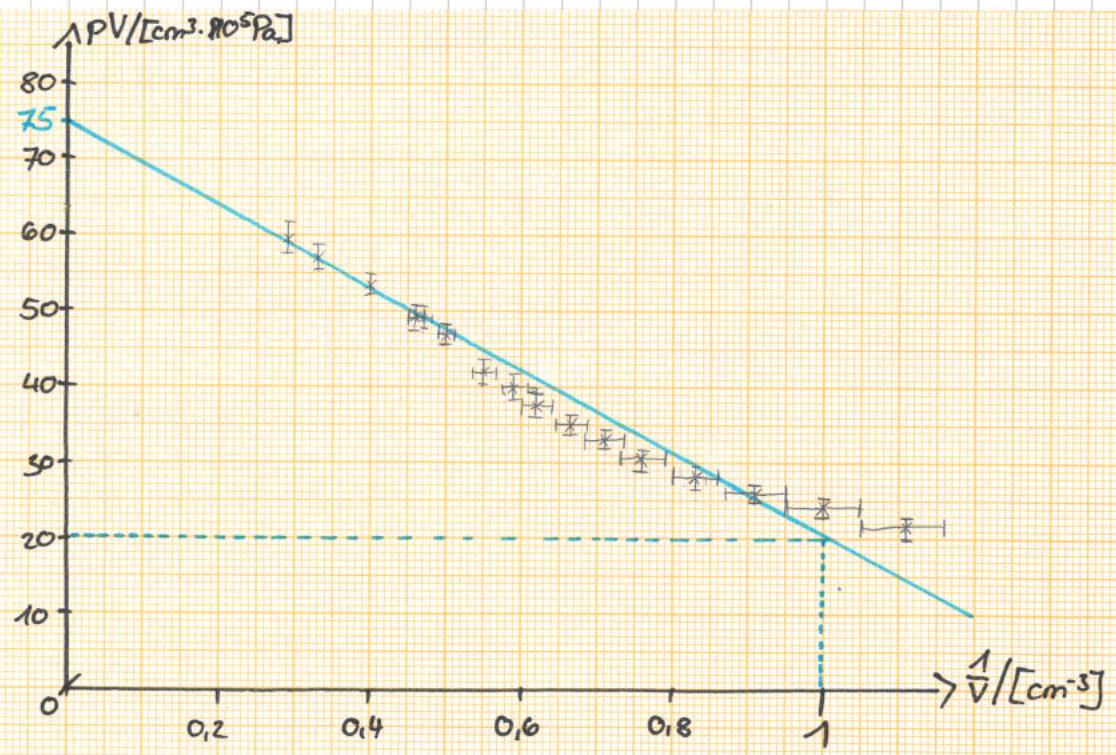
Somit folgende Wertetabellen und Graphen für die einzelnen Temperaturen.

Nachtrag: Im Nachhinein wurde festgestellt, dass sich ein Fehler in die Skalierung der y-Achse eingeschlichen hat. Deswegen ist diese mit ' $\cdot 10$ ' skaliert.

Die Werte, mit denen weitergerechnet wurden, wurden daraufhin angepasst!

$T = 25^\circ\text{C}$

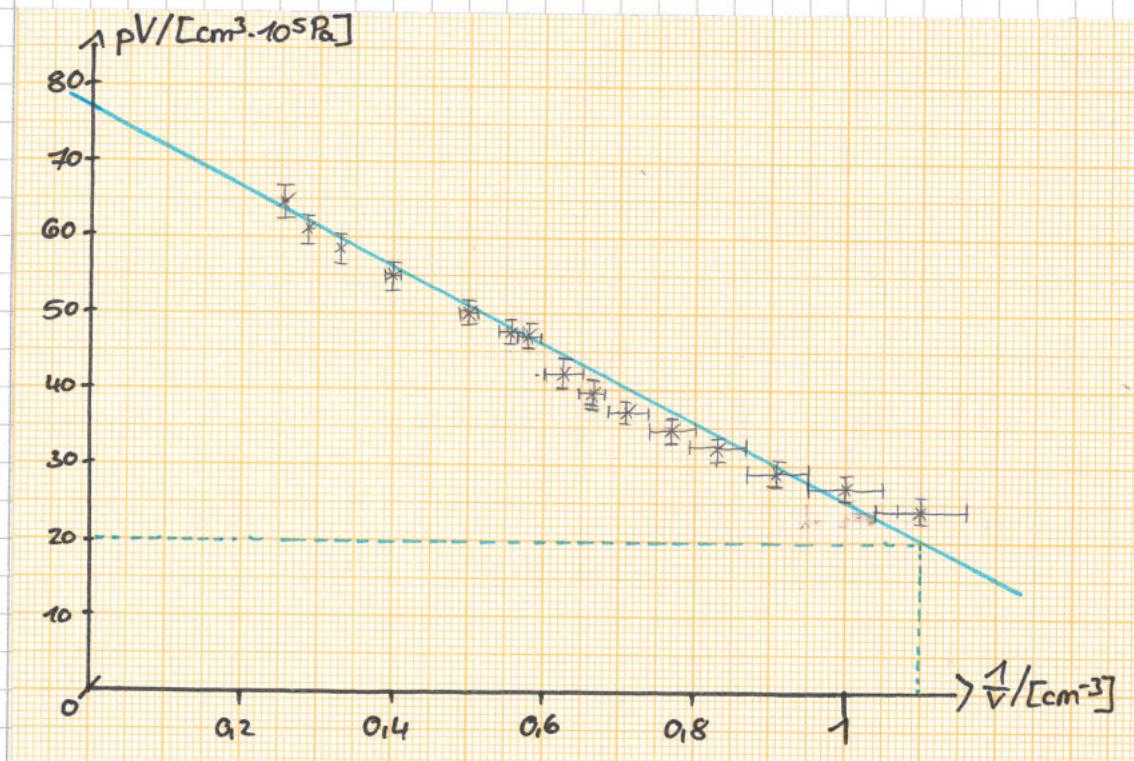
V/cm^3	$p/[10^5 \text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[10^5 \text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$
3,5	17,0	0,2857	59,50	0,05	0,5	0,0041	1,9
3,0	19,0	0,3333	57,00	0,05	0,5	0,0056	1,8
2,5	21,5	0,4000	53,75	0,05	0,5	0,0080	1,6
2,2	23,0	0,4651	49,45	0,05	0,5	0,0108	1,6
2,1	23,5	0,4762	49,35	0,05	0,5	0,0113	1,6
2,0	23,5	0,5000	47,00	0,05	0,5	0,0125	1,5
1,8	23,5	0,5556	42,30	0,05	0,5	0,0154	1,5
1,7	23,5	0,5882	39,95	0,05	0,5	0,0173	1,5
1,6	23,5	0,6250	37,60	0,05	0,5	0,0195	1,4
1,5	23,5	0,6667	35,25	0,05	0,5	0,0222	1,4
1,4	23,5	0,7143	32,90	0,05	0,5	0,0255	1,4
1,3	23,5	0,7692	30,55	0,05	0,5	0,0296	1,3
1,2	23,5	0,8333	28,20	0,05	0,5	0,0347	1,3
1,1	23,5	0,9091	25,85	0,05	0,5	0,0413	1,3
1,0	24,0	1,0000	24,00	0,05	0,5	0,0500	1,3
0,9	24,0	1,1111	21,60	0,05	0,5	0,0617	1,3
0,8	24,0	1,2500	19,20	0,05	0,5	0,0781	1,3
0,7	24,0	1,4286	16,80	0,05	0,5	0,1020	1,3
0,6	24,5	1,6667	14,70	0,05	0,5	0,1389	1,3
0,5	24,0	2,0000	12,00	0,05	0,5	0,2000	1,2
0,4	26,0	2,5000	10,40	0,05	0,5	0,3125	1,3
0,35	33,5	2,8571	11,73	0,05	0,5	0,4082	1,7



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$v/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	7,5	0,0030	-5,5	-251,53
Fehler	0,1		0,16	101,41

$T = 30^\circ\text{C}$

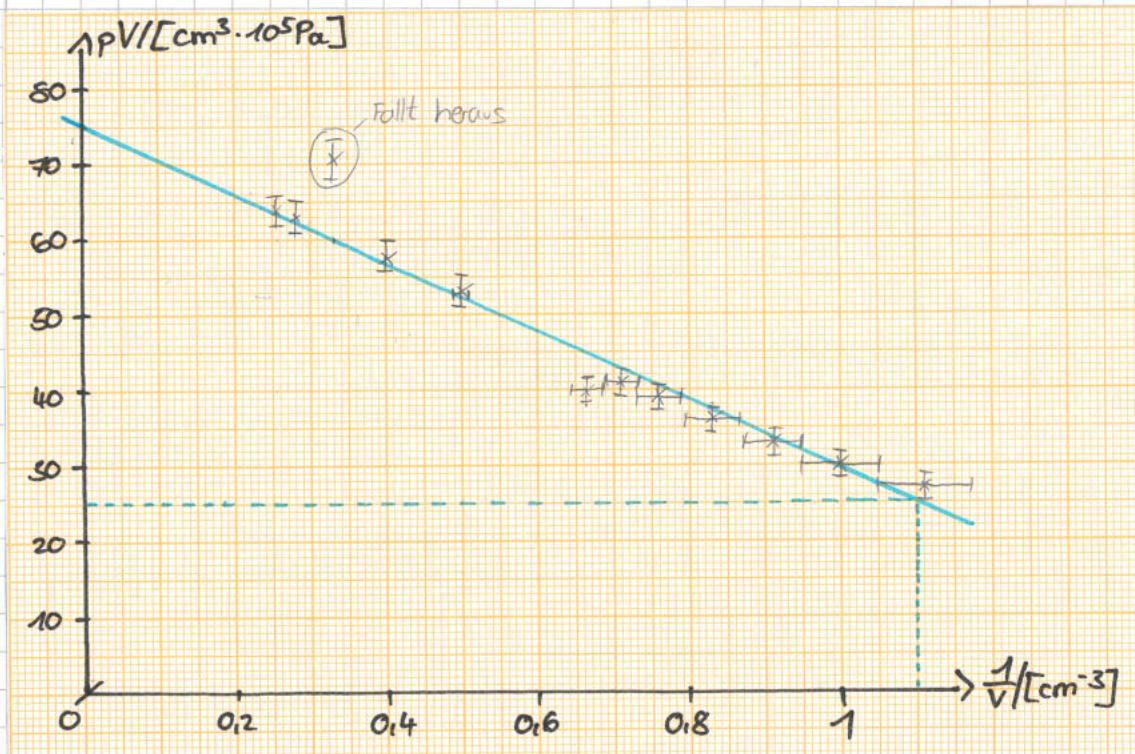
V/cm^3	$p/[\text{10}^5 \text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot \text{10}^5 \text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[\text{10}^5 \text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot \text{10}^5 \text{Pa}]$
3,9	16,5	0,2564	64,35	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	17,5	0,2857	61,25	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	19,5	0,3333	58,50	0,05	0,5	0,0056	1,8
2,5	22,0	0,4000	55,00	0,05	0,5	0,0080	1,7
2,0	25,0	0,5000	50,00	0,05	0,5	0,0125	1,6
1,8	26,5	0,5556	47,70	0,05	0,5	0,0154	1,6
1,7	26,5	0,5882	45,05	0,05	0,5	0,0173	1,6
1,6	26,5	0,6250	42,40	0,05	0,5	0,0195	1,5
1,5	26,5	0,6667	39,75	0,05	0,5	0,0222	1,5
1,4	26,5	0,7143	37,10	0,05	0,5	0,0255	1,5
1,3	26,5	0,7692	34,45	0,05	0,5	0,0296	1,5
1,2	26,5	0,8333	31,80	0,05	0,5	0,0347	1,5
1,1	26,5	0,9091	29,15	0,05	0,5	0,0413	1,4
1,0	27,0	1,0000	27,00	0,05	0,5	0,0500	1,4
0,9	27,0	1,1111	24,30	0,05	0,5	0,0617	1,4
0,8	27,0	1,2500	21,60	0,05	0,5	0,0781	1,4
0,7	27,0	1,4286	18,90	0,05	0,5	0,1020	1,4
0,6	27,5	1,6667	16,50	0,05	0,5	0,1389	1,4
0,5	28,0	2,0000	14,00	0,05	0,5	0,2000	1,4
0,4	28,5	2,5000	11,40	0,05	0,5	0,3125	1,4
0,35	45,0	2,8571	15,75	0,05	0,5	0,4082	2,3



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$v/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	7,7	0,0031	-5,18	-233,07
Fehler	0,1		0,14	73,50

$T = 35^\circ\text{C}$

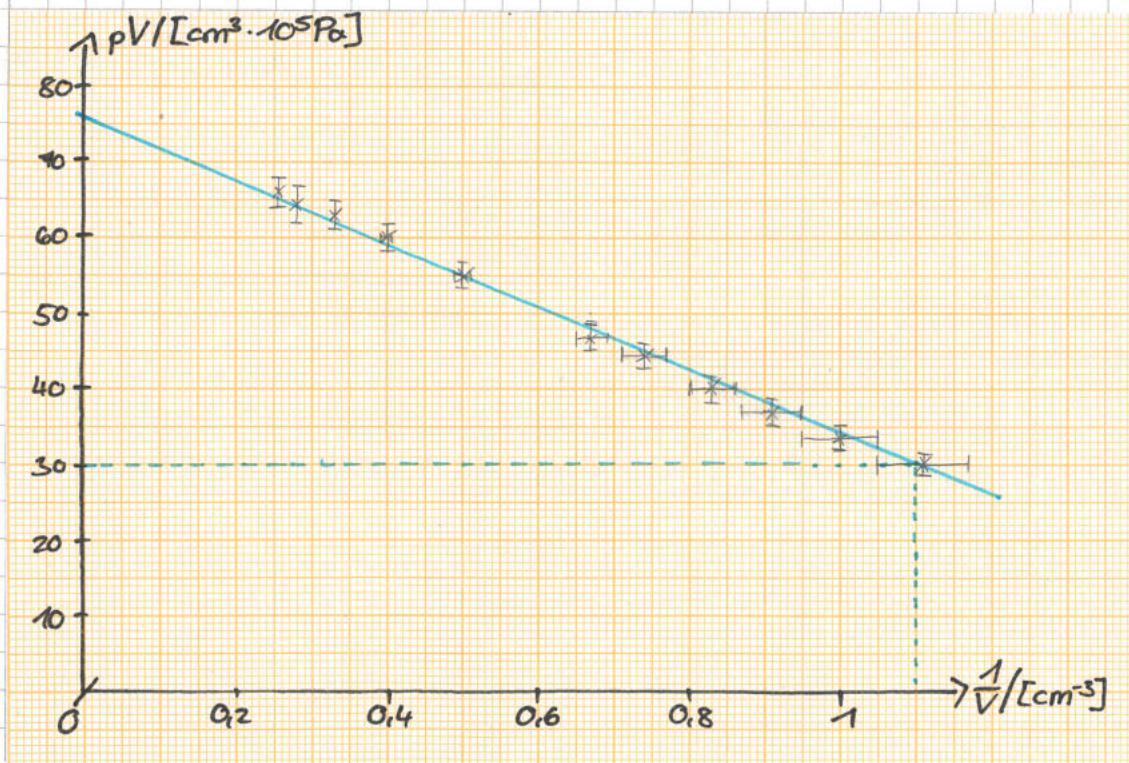
V/cm^3	$p/[10^5 \text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[10^5 \text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$
3,9	16,5	0,2564	64,35	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	18,0	0,2857	63,00	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	23,5	0,3333	70,50	0,05	0,5	0,0056	1,9
2,5	23,0	0,4000	57,50	0,05	0,5	0,0080	1,7
1,5	26,5	0,6667	39,75	0,05	0,5	0,0222	1,5
1,4	29,5	0,7143	41,30	0,05	0,5	0,0255	1,6
1,3	30,0	0,7692	39,00	0,05	0,5	0,0296	1,6
1,2	30,0	0,8333	36,00	0,05	0,5	0,0347	1,6
1,1	30,0	0,9091	33,00	0,05	0,5	0,0413	1,6
1,0	30,0	1,0000	30,00	0,05	0,5	0,0500	1,6
0,9	30,0	1,1111	27,00	0,05	0,5	0,0617	1,6
0,8	30,5	1,2500	24,40	0,05	0,5	0,0781	1,6
0,7	30,5	1,4286	21,35	0,05	0,5	0,1020	1,6
0,6	30,5	1,6667	18,30	0,05	0,5	0,1389	1,6
0,5	30,5	2,0000	15,25	0,05	0,5	0,2000	1,5
0,4	32,5	2,5000	13,00	0,05	0,5	0,3125	1,6
0,375	38,5	2,6667	14,44	0,05	0,5	0,3556	1,9



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$\nu/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	7,5	0,0029	-5,00	-221,25
Fehler	0,1		0,14	60,21

$T=400^\circ C$

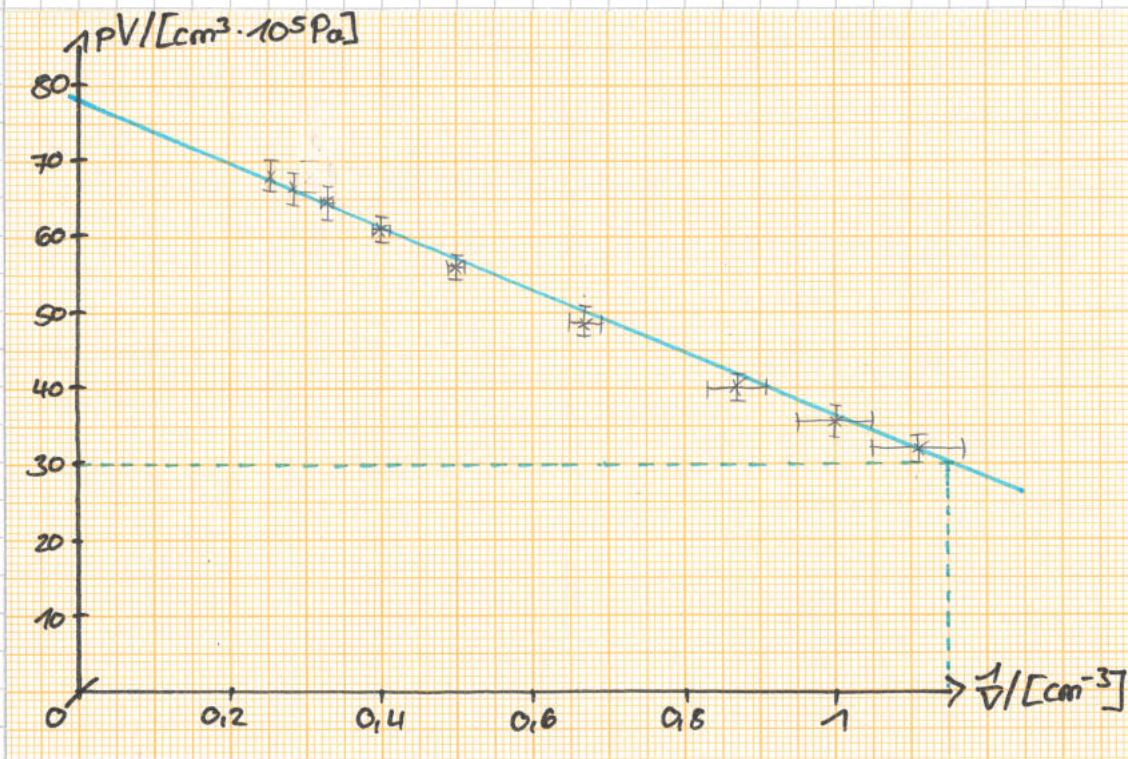
$V/[cm^3]$	$p/[10^5 Pa]$	$V^{-1}/[cm^{-3}]$	$pV/[cm^3 \cdot 10^5 Pa]$	$s_V/[cm^3]$	$s_p/[10^5 Pa]$	$s_{V^{-1}}/[cm^{-3}]$	$s_{pV}/[cm^3 \cdot 10^5 Pa]$
3,9	17,0	0,2564	66,30	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	18,5	0,2857	64,75	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	21,0	0,3333	63,00	0,05	0,5	0,0056	1,8
2,5	24,0	0,4000	60,00	0,05	0,5	0,0080	1,7
2,0	27,5	0,5000	55,00	0,05	0,5	0,0125	1,7
1,5	31,0	0,6667	46,50	0,05	0,5	0,0222	1,7
1,4	33,0	0,7407	44,55	0,05	0,5	0,0274	1,8
1,2	33,5	0,8333	40,20	0,05	0,5	0,0347	1,8
1,1	33,5	0,9091	36,85	0,05	0,5	0,0413	1,8
1,0	33,5	1,0000	33,50	0,05	0,5	0,0500	1,7
0,9	33,5	1,1111	30,15	0,05	0,5	0,0617	1,7
0,8	34,0	1,2500	27,20	0,05	0,5	0,0781	1,7
0,7	34,0	1,4286	23,80	0,05	0,5	0,1020	1,7
0,6	34,0	1,6667	20,40	0,05	0,5	0,1389	1,7
0,5	34,5	2,0000	17,25	0,05	0,5	0,2000	1,7
0,4	46,5	2,5000	18,60	0,05	0,5	0,3125	2,3



	$pV(0)/[Pa \cdot m^3]$	$v/[mol]$	$Steigung/[Pa]$	$B(T)/[cm^3 \cdot mol^{-1}]$
Werte	7,6	0,0029	-4,18	-182,09
Fehler	0,1		0,14	50,14

$T=43^\circ\text{C}$

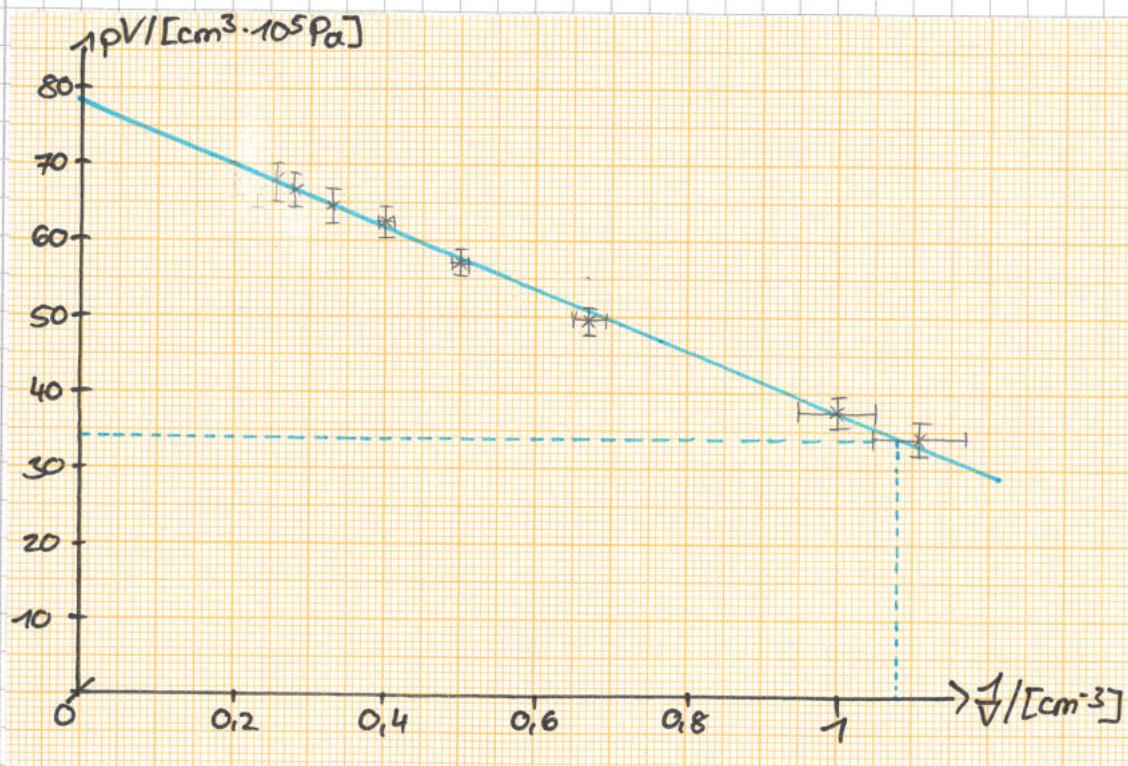
V/cm^3	$p/[10^5\text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot 10^5\text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[10^5\text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot 10^5\text{Pa}]$
3,9	17,5	0,2564	68,25	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	19,0	0,2857	66,50	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	21,5	0,3333	64,50	0,05	0,5	0,0056	1,8
2,5	24,5	0,4000	61,25	0,05	0,5	0,0080	1,8
2,0	28,0	0,5000	56,00	0,05	0,5	0,0125	1,7
1,5	32,5	0,6667	48,75	0,05	0,5	0,0222	1,8
1,2	35,0	0,8696	40,25	0,05	0,5	0,0378	1,8
1,0	35,5	1,0000	35,50	0,05	0,5	0,0500	1,8
0,9	36,0	1,1111	32,40	0,05	0,5	0,0617	1,9
0,8	36,0	1,2500	28,80	0,05	0,5	0,0781	1,8
0,7	36,0	1,4286	25,20	0,05	0,5	0,1020	1,8
0,6	36,0	1,6667	21,60	0,05	0,5	0,1389	1,8
0,5	36,5	2,0000	18,25	0,05	0,5	0,2000	1,8
0,425	39,0	2,3529	16,58	0,05	0,5	0,2768	2,0



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$v/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	7,8	0,0030	-4,17	-180,02
Fehler	0,1		0,18	60,12

$T = 44,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

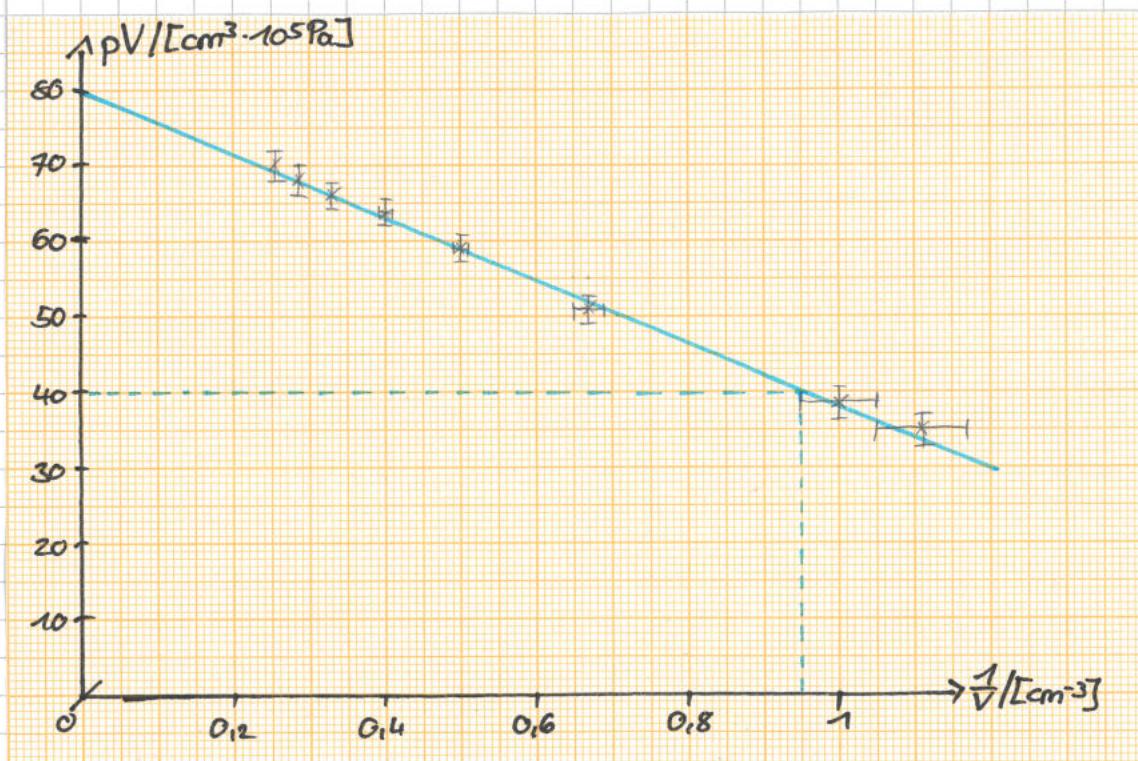
$V/[cm^3]$	$p/[10^5 \text{ Pa}]$	$V^{-1}/[cm^{-3}]$	$pV/[cm^3 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$	$s_V/[cm^3]$	$s_p/[10^5 \text{ Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[cm^{-3}]$	$s_{pV}/[cm^3 \cdot 10^5 \text{ Pa}]$
3,9	17,5	0,2564	68,25	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	19,0	0,2857	66,50	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	21,5	0,3333	64,50	0,05	0,5	0,0056	1,8
2,5	25,0	0,4000	62,50	0,05	0,5	0,0080	1,8
2,0	28,5	0,5000	57,00	0,05	0,5	0,0125	1,7
1,5	33,0	0,6667	49,50	0,05	0,5	0,0222	1,8
1,0	37,5	1,0000	37,50	0,05	0,5	0,0500	1,9
0,9	37,5	1,1111	33,75	0,05	0,5	0,0617	1,9
0,8	38,0	1,2500	30,40	0,05	0,5	0,0781	1,9
0,7	38,0	1,4286	26,60	0,05	0,5	0,1020	1,9
0,6	38,0	1,6667	22,80	0,05	0,5	0,1389	1,9
0,5	38,5	2,0000	19,25	0,05	0,5	0,2000	1,9
0,45	41,0	2,2222	18,45	0,05	0,5	0,2469	2,1



	$pV(0)/[Pa \cdot m^3]$	$v/[mol]$	$Steigung/[Pa]$	$B(T)/[cm^3 \cdot mol^{-1}]$
Werte	7,8	0,0029	-4,07	-174,50
Fehler	0,1		0,14	43,84

$T = 48^\circ\text{C}$

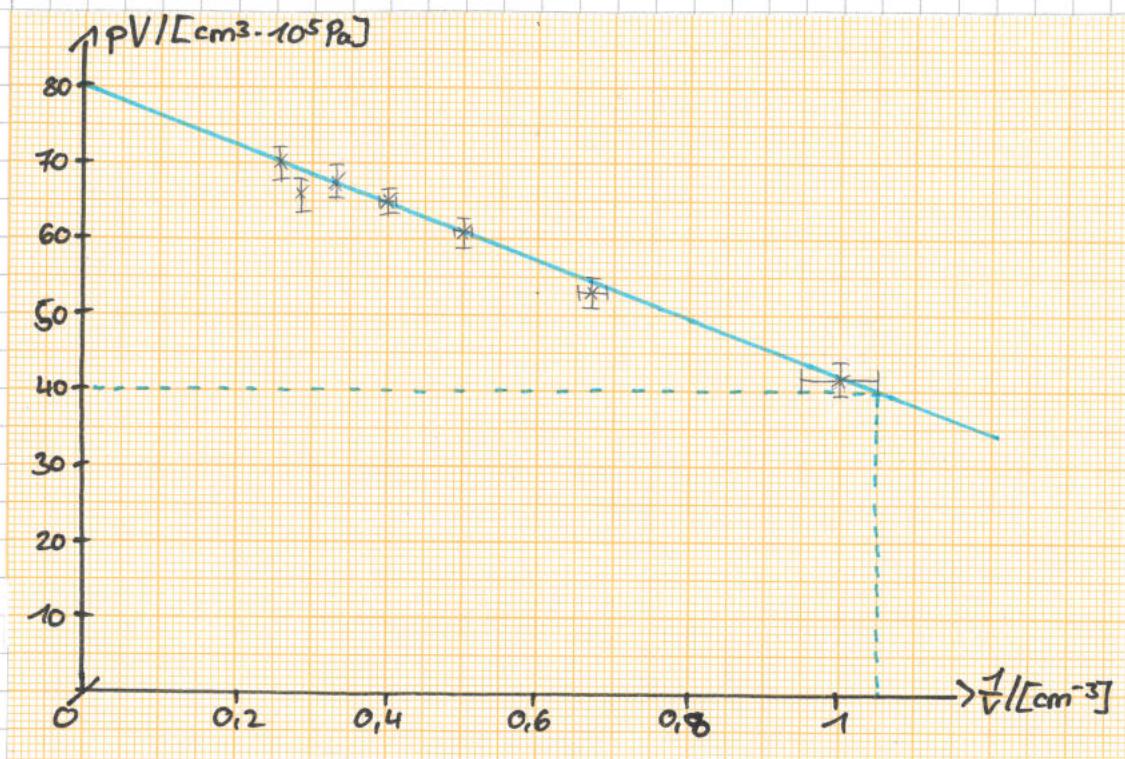
$V/\text{[cm}^3]$	$p/\text{[10}^5\text{Pa]}$	$V^{-1}/\text{[cm}^{-3}]$	$pV/\text{[cm}^3 \cdot 10^5\text{Pa]}$	$s_V/\text{[cm}^3]$	$s_p/\text{[10}^5\text{Pa]}$	$s_{V^{-1}}/\text{[cm}^{-3}]$	$s_{pV}/\text{[cm}^3 \cdot 10^5\text{Pa}]$
3,9	18,0	0,2564	70,20	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	19,5	0,2857	68,25	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	22,0	0,3333	66,00	0,05	0,5	0,0056	1,9
2,5	25,5	0,4000	63,75	0,05	0,5	0,0080	1,8
2,0	29,5	0,5000	59,00	0,05	0,5	0,0125	1,8
1,5	34,0	0,6667	51,00	0,05	0,5	0,0222	1,9
1,0	38,5	1,0000	38,50	0,05	0,5	0,0500	2,0
0,9	39,0	1,1111	35,10	0,05	0,5	0,0617	2,0
0,8	40,0	1,2500	32,00	0,05	0,5	0,0781	2,0
0,7	40,0	1,4286	28,00	0,05	0,5	0,1020	2,0
0,6	40,5	1,6667	24,30	0,05	0,5	0,1389	2,0
0,5	42,5	2,0000	21,25	0,05	0,5	0,2000	2,1
0,45	43,5	2,2222	19,58	0,05	0,5	0,2469	2,2



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$v/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	8,0	0,0030	-4,21	-178,77
Fehler	0,1		0,16	47,36

$T = 53^\circ\text{C}$

V/cm^3	$p/[10^5 \text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[10^5 \text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$
3,9	18,0	0,2564	70,20	0,05	0,5	0,0033	2,1
3,5	19,0	0,2857	66,50	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	22,5	0,3333	67,50	0,05	0,5	0,0056	1,9
2,5	26,0	0,4000	65,00	0,05	0,5	0,0080	1,8
2,0	30,5	0,5000	61,00	0,05	0,5	0,0125	1,8
1,5	35,5	0,6667	53,25	0,05	0,5	0,0222	1,9
1,0	41,5	1,0000	41,50	0,05	0,5	0,0500	2,1
0,8	43,0	1,2500	34,40	0,05	0,5	0,0781	2,2
0,7	44,5	1,4286	31,15	0,05	0,5	0,1020	2,3
0,6	46,0	1,6667	27,60	0,05	0,5	0,1389	2,3

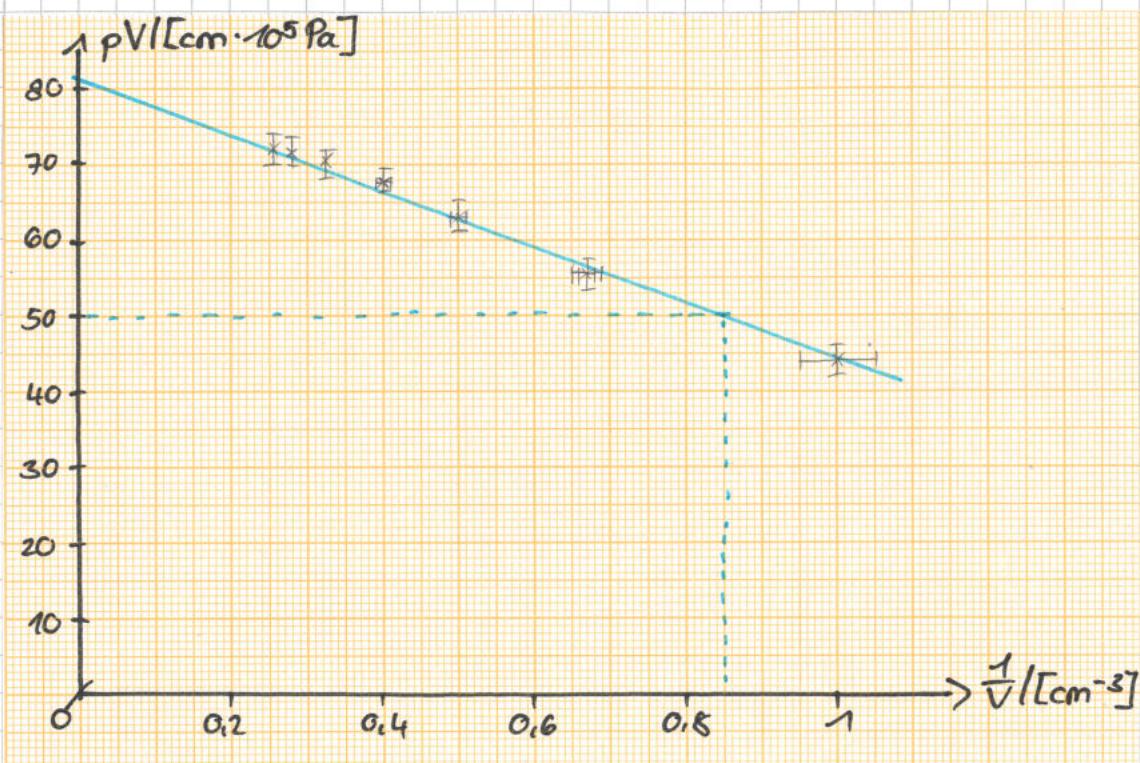


	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$\nu/[\text{mol}]$	Steigung/[\text{Pa}]	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	8,0	0,0030	-3,81	-159,26
Fehler	0,1		0,14	38,15

77

$T = 58^\circ\text{C}$

V/cm^3	$p/[10^5 \text{Pa}]$	$V^{-1}/[\text{cm}^{-3}]$	$pV/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$	$s_V/[\text{cm}^3]$	$s_p/[10^5 \text{Pa}]$	$s_{V^{-1}}/[\text{cm}^{-3}]$	$s_{pV}/[\text{cm}^3 \cdot 10^5 \text{Pa}]$
3,9	18,5	0,2564	72,15	0,05	0,5	0,0033	2,2
3,5	20,5	0,2857	71,75	0,05	0,5	0,0041	2,0
3,0	23,5	0,3333	70,50	0,05	0,5	0,0056	1,9
2,5	27,0	0,4000	67,50	0,05	0,5	0,0080	1,8
2,0	31,5	0,5000	63,00	0,05	0,5	0,0125	1,9
1,5	37,0	0,6667	55,50	0,05	0,5	0,0222	2,0
1,0	44,0	1,0000	44,00	0,05	0,5	0,0500	2,3
0,7	48,0	1,4286	33,60	0,05	0,5	0,1020	2,4



	$pV(0)/[\text{Pa} \cdot \text{m}^3]$	$v/[\text{mol}]$	$\text{Steigung}/[\text{Pa}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
Werte	8,1	0,0029	-3,65	-150,17
Fehler	0,1		0,18	42,26

Die gesamte Stoffmenge ν berechnet sich aus den Mittelwert, der berechneten Stoffmengen für jede Temperatur.

Der Fehler dieser ist die Standardabweichung vom Mittelwert.

Somit folgt für ν :

so genau glaub ich das nie!

$$\nu = (0,00297 \pm 0,00002) \text{ mol}$$



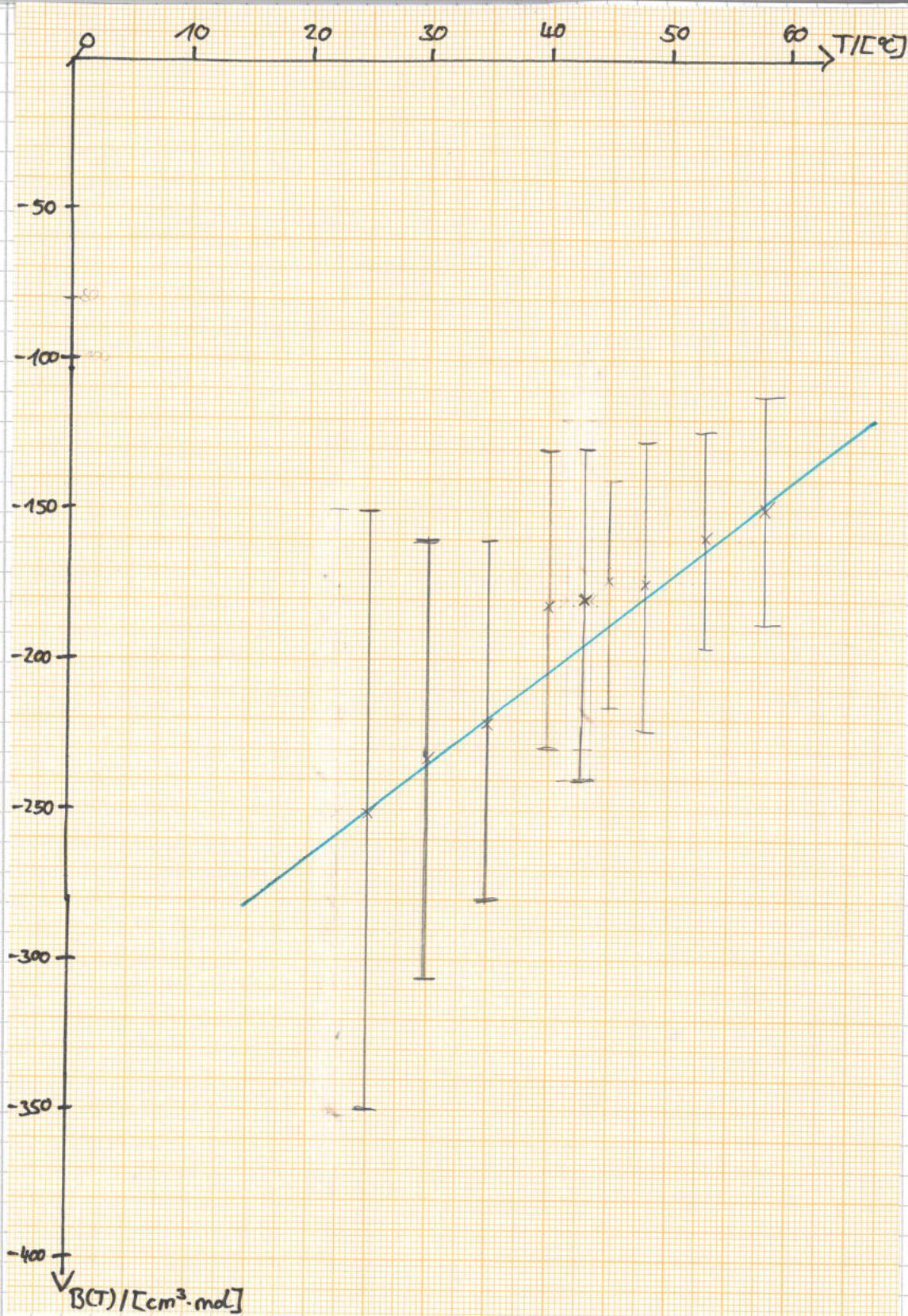
Da nun ν bekannt ist, kann nun $B(T)$ berechnet werden.

Hierfür ergibt sich folgende Wertetabelle:

$T_c/[^{\circ}\text{C}]$	$B(T)/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$	$v/[\text{mol}]$	$s_{T_c}/[^{\circ}\text{C}]$	$s_{B(T)}/[\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$
25,0	-251,53	0,0030	0,4	101,47
30,0	-233,07	0,0031	0,4	73,50
35,0	-221,25	0,0029	0,4	60,21
40,0	-182,09	0,0029	0,4	50,14
43,0	-180,02	0,0030	0,4	60,12
45,2	-174,50	0,0029	0,4	43,84
48,0	-178,77	0,0030	0,4	47,36
53,0	-159,26	0,0030	0,4	38,15
58,0	-150,17	0,0029	0,4	42,26

Im Vergleich zu den angegebenen Literaturwerten einwenden!
Sind unsere errechneten Werte größer, aber schließen mit Einbezug des Fehlers die Literaturwerte ein.

Die Graphische Auftragung befindet sich auf der nächsten Seite.



4.5 Kritischer Exponent γ :

Berechnung V_c :

Das kritische Volumen hängt von der Stoffmenge \mathcal{N} ab:

$$V_c = V_c^{\text{mol}} \cdot \mathcal{N} \quad (V_c^{\text{mol}} = 197,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}})$$

Mit $\mathcal{N} = 0,00297 \text{ mol}$ folgt:

$$\overline{V}_c = 197,4 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \cdot 0,00297 \text{ mol}$$

$$\overline{V}_c = 0,586278 \text{ cm}^3 \quad \checkmark$$

Für den Fehler von V_c folgt:

$$s_{V_c} = V_c^{\text{mol}} \cdot s_T = 3,948 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow V_c = (0,586 \pm 0,003) \text{ mol} \quad \checkmark$$

Dies ist auch kleiner als das abgelesene kritische Volumen aus 4.1. wie groß war der?

Bestimmung von γ :

Nach dem Skript gilt, in der Nähe des kritischen Punktes:

$$\underbrace{\frac{s_{fl} - s_g}{s_c}}_{:=C} \approx \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right)^{\gamma}$$

Wenn nun C gegen ∞ aufgetragen wird, ergibt dies mit $\gamma = \frac{1}{3}$ eine Gerade.

Nach Frage 5 der Fragen zur Vorbereitung gilt zudem:

$$C = \frac{s_{fl} - s_g}{s_c} = V_c \left(\frac{1}{V_{fl}} - \frac{1}{V_g} \right)$$

Fehler von C^3 :

$$\begin{aligned} s_{C^3} &= \sqrt{\left(\frac{\partial C^3}{\partial V_c} \cdot s_{V_c} \right)^2 + \left(\frac{\partial C^3}{\partial V_{fl}} \cdot s_{V_{fl}} \right)^2 + \left(\frac{\partial C^3}{\partial V_g} \cdot s_{V_g} \right)^2} \\ &= \left\{ \left[3 \cdot \left(\frac{V_c}{V_{fl}} - \frac{V_c}{V_g} \right)^2 \right]^2 \cdot \left[\left(\frac{1}{V_{fl}} - \frac{1}{V_g} \cdot s_{V_c} \right)^2 + \left(-\frac{V_c}{V_{fl}^2} \cdot s_{V_{fl}} \right)^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \left(\frac{V_c}{V_g^2} \cdot s_{V_g} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \end{aligned}$$

Fehler von T :

$$\begin{aligned} s_T &= \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \cdot s_{\tau} \right)^2} = \frac{s_{\tau}}{T_c} \\ &\approx 0,008855940 \text{ K} \end{aligned}$$

Es wird in der Nähe des kritischen Punktes

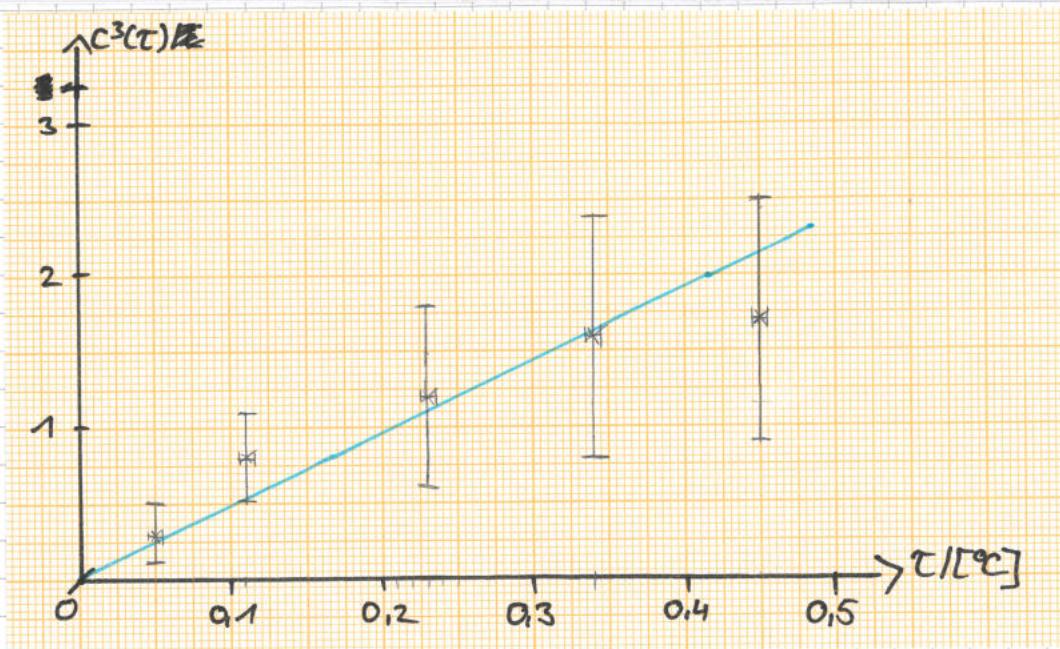
C^3 gegen τ aufgetragen. Somit folgt

folgende Wertetabelle: (nächste Seite)

Konstanten

$V_c / [\text{cm}^3]$	0,5863
$s_{V_c} / [\text{cm}^3]$	0,0030
$T_c / [^\circ\text{C}]$	45,15
$s_{V_{fl}} = s_{V_g} / [\text{cm}^3]$	0,05
$s_{\tau} / [^\circ\text{C}]$	0,009
$s_T / [^\circ\text{C}]$	0,4

$T_c/^\circ C$	$V_g/[cm^3]$	$V_{fl}/[cm^3]$	C	C^3	s_{C^3}	$\tau/^\circ C$
25,00	2,10	0,40	1,2	1,7	0,8	0,446
30,00	2,00	0,40	1,2	1,6	0,8	0,336
35,00	1,50	0,40	1,1	1,2	0,6	0,225
40,00	2,35	0,50	0,9	0,8	0,3	0,114
43,00	1,15	0,50	0,7	0,3	0,2	0,048



Es ergibt sich eine Ursprungsgerade und die Annahme von $\gamma = \frac{1}{3}$ würde passen.

$$T = T_c:$$

Für $T = T_c$ ist τ gleich 0, und auch C^3 ist gleich null.

Aussage über $S_{FL} - S_g$: Bei $T = T_c$ gilt:

$$C^3 = 0 = C = \frac{S_{FL} - S_g}{S_c}$$

✓

$$\Leftrightarrow S_{FL} = S_g$$

Dies bedeutet, dass wenn die Temperatur den kritischen Wert erreicht, haben die flüssige und gasförmige Phase dieselbe Dicke. Dies erklärt auch, weshalb oberhalb der kritischen Temperatur die Phasen nicht mehr unterscheiden werden. ✓

5. Fazit

In diesem Versuch wurde das Verhalten des Gases Schwefelhexafluorid (SF_6) untersucht.

Dabei wurde der Übergang von der Van-der-Waals Gasgleichung zur idealen Gasgleichung untersucht, um so die kritische Werte für das Volumen, Druck und Temperatur zu finden. Dabei waren unsere gemessenen Werte im Vergleich zu den Literaturwerten zu groß.

Weiter wurde auch noch die mol-Zahl und der Virialkoeffizienten bestimmt. Der Virialkoeffizient passte mit ein bezug seiner Fehler zu den theoretisch erwarteten Werten.

Die mol-Zahl wurde abschließend dazu verwendet um das theoretische kritische Volumen zu errechnen. Dieses ist aber im Vergleich zu dem gemessenen zu gering.

Für die Abweichungen kommen eher grobe Fehler, als systematische in Frage, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass alle Messgeräte (Thermometer, Volumenanzeige, Druckanzeige) fehlerhaft sind.

6. Anhang

Frage 2. Vorl.: - Rechner SIE explizit durchföhrte
- Sart o.a.

Ansprechpartner: - sehr radikal!

- ließen SIE genauer berichten
- Rettfiller der Ansprech?
- Literaturvortr. bzw. Verteil?
- das können SIE besser!

Ausrech.: - bei Ihnen wurde etwas nicht, der Kritik führt mit vielen Lücken
→ es fehlt SIE um eine große Fülle zu handeln
→ falsche Temperaturen?

- p-V-Linie: nicht alle Füllersalben einreichen, da zu unterschiedlich
- Dampfdurchdring.: Literaturvortr. einreichen
- Virialkoeffizient: - Gewichtet von D mit Monopol nicht vorsichtig
- $\bar{V}(T) \rightarrow$ Literaturvortr. einreichen

→ insgesamt SIE Ausrech., Fehler anidei. nicht fälsch. generieren!

Protokoll/Durchführung: 2 / 4

Form: 2 / 2

Isotherme, Dampfdruck, krit. Werte: 3,5 / 4,5

Virialkoeffizient: 5 / 5,5

Kritischer Exponent: 4 / 4

Eingangstest:

Gesamt: 16,5 / 20

Versuch RG: Reales Gas

1. Allgemeines

Ort: Universität Bayreuth, NWII

Raum: 2.2.C2.692

Startzeit: 14.15

Gruppe: 6

Messperson: Paul Schwanitz

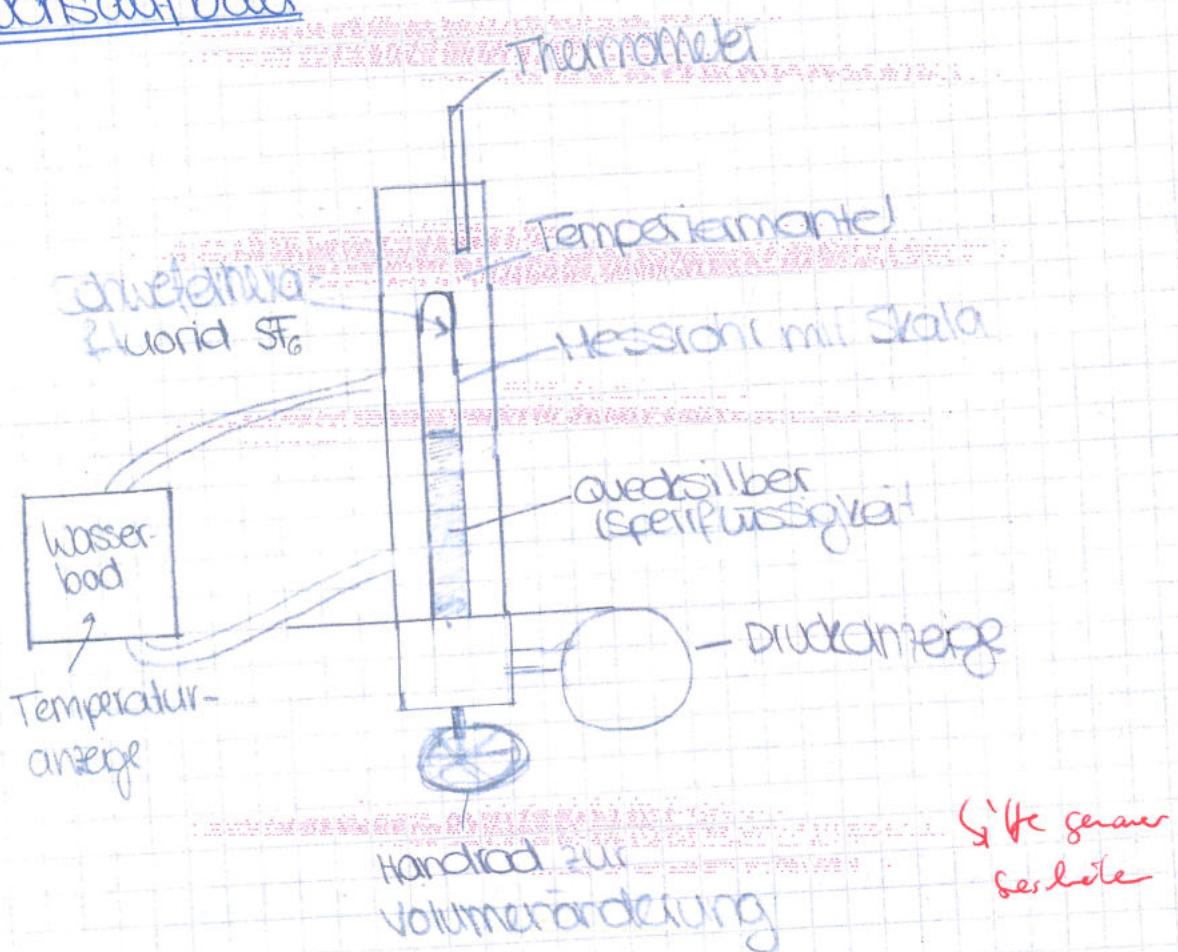
Auswerteperson: Dominik Müller *

Protokollperson: Amalia Pleyer

Datum: 13.01.2021

* war virtuell (per zoom) anwesend ✓

2. Versuchsaufbau

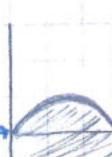


Verwendete Geräte

- Gerät mit Nessröhre: Apparatus 2
Inventurnummer: 40278
- Thermostat
Inventarnummer: 71199

3 Durchführung

1. Einstellen der Temperatur
2. 10 min warten, damit das System im therm. Gleichgewicht ist
3. Einstellen des Volumen
Schrittweite: ca. $0,5 \text{ cm}^3$ in Gasphase
ca. $0,1 \text{ cm}^3$ in Verflüssigungsphase
4. Bei Volumenänderung wird ca. 1 - 2 min gewartet
zu lange!
5. Der sich ergebende Druck wird notiert

- Das Zweiphasengebiet soll möglichst genau bestimmt werden | die Grenzen!
- Beobachtungen nahe des kritischen Punktes sollen gründlicher notiert werden
- Bei einigen Punkten wird die Eichung überprüft, indem man diesen mit dem Literaturwert überprüft
- Das Volumen wird am Meniskus abgelesen
ablesen → 

4. Fehler

- Volumenskala:

Ablesefehler: $0,05 \text{ cm}^3 = \Delta a$

- Druckanzeige:

Ablesefehler: $\Delta a = 0,5 \text{ bar}$

- Temperaturanzeige:

Anzeigegenauigkeit: $\pm 0,4^\circ\text{C}$

Temperaturkonstant: $\pm 0,02^\circ\text{C}$

Möglich?

5. Aufgabe

5.1. Temperatur 1: $T = 25,0^\circ\text{C}$

- Uhrzeit der Änderung: 14.15
- Uhrzeit der Messung: 14.27

Nr.	Volumen V in dm^3	Druck in bar
1	3,5	17
2	3,0	19
3	2,5	21,5
4	2,15	23,0
5	2,1	23,5
6	2,0	23,5
7	1,8	23,5
8	1,7	23,5
9	1,6	23,5
10	1,5	23,5
11	1,4	23,5
12	1,3	23,5
13	1,2	23,5
14	1,1	23,5
15	1,0	24,0
16	0,9	24,0
17	0,8	24,0
18	0,7	24,0
19	0,6	24,5
20	0,5	24,0
21	0,4	26,0
22	0,35*	33,5

ab hier
zweiphasen-
gebiet

*nur noch
Flüssigkeit

5.2 Temperatur 2: $T = 30^\circ\text{C}$

- Uhrzeit der Änderung: 15:21
- Uhrzeit der Messung: 15:30

Nr.	Volumen V in cm^3	Druck p in bar
1	3,9	16,5
2	3,5	17,5
3	3,0	19,5
4	2,5	22,0
5	2,0	25,0
6	1,8	26,5
7	1,7	26,5
8	1,6	26,5
9	1,5	26,5
10	1,4	26,5
11	1,3	26,5
12	1,2	26,5
13	1,1	26,5
14	1,0	27,0
15	0,9	27,0
16	0,8	27,0
17	0,7	27,0
18	0,6	27,5
19	0,5	28,0
20	0,4	28,5
21	0,35 [*]	45;0

^{*} ab hier ist alles Flüssig

Ende zweiphas.
geblieben

5.3 Temperatur 3: $T=35^{\circ}\text{C}$

- Uhrzeit der Änderung: 15:56
- Uhrzeit der Messung: 15:05

Nr.	Volumen V in cm^3	Druck p in bar
1	3,9	16,5
2	3,5	18,0
3	3,0	23,5
4	2,9	23,0
5	2,0	26,5
6	1,5	29,5
7	1,4	30,0
8	1,3	30,0
9	1,2	30,0
10	1,1	30,0
11	1,0	30,0
12	0,9	30,0
13	0,8	30,5
14	0,7	30,5
15	0,6	30,5
16	0,5	30,5
17	0,4	32,5
18	0,375 \otimes	38,5
19		
(*) ab hier alles flüssig		

ab hier zweiphasengebiet

Ende zufi-Phasen-gebiet

5.4 Temperatur 4: $T = 40^\circ\text{C}$

- Änderung: 16:20
- Uhrzeit Messung: 16:30

Nr	V in cm^3	p in bar.
1	3,9	17,0
2	3,5	18,5
3	3,0	21,0
4	2,5	24,0
5	2,0	27,5
6	1,5	31,0
7	1,35	33,0 ab hier zweiphasen- gebiet
8	1,2	33,5
9	1,1	33,5
10	1,0	33,5
11	0,9	34,0
12	0,8	34,0
13	0,7	34,0
14	0,6	34,0
15	0,5	34,5 Ende zweier Phasengebiete
16	0,4*	46,5

* kein gasförmiges
Zustand mehr

5.5 Temperatur 5: T = 43,0 °C

- Uhrzeit des Temperaturändersung: 16:40
- Uhrzeit des Messungsstart: 16:50

Nr.	V in cm³	p in bar
1	3,9	17,5
2	3,5	19,0
3	3,0	21,5
4	2,5	24,5
5	2,0	28,0
6	1,5	32,5
7	1,15	35,0
8	1,0	35,5
9	0,9	36,0
10	0,8	36,0
11	0,7	36,0
12	0,6	36,0
13	0,5	36,5
14	0,425 (*)	39,0

do hier
zwei Phasengebiet

Einde: zweiphasen-
gebiet

(*) Rein Flüssig

5.6 Temperatur 6 $T = 45,2^\circ\text{C}$

- Änderungsuhrzeit: 17:06
- Messungsstart 17:16

Nr.	$V \text{ in } \text{cm}^3$	$p \text{ in bar}$
1	3,9	17,5
2	3,5	19,0
3	3,0	21,5
4	2,5	25,0
5	2,0	28,5
6	1,5	33,0
7	1,0	37,5
8	0,9	37,5
9	0,8	38,0
10	0,7	38,0
11	0,6	38,0
12	0,5	38,5
13	0,45 $\textcircled{\times}$	41,0

ab hier
„zweiphasig“ $\textcircled{!}$

Ende des
„zweiphasen“

$\textcircled{\times}$ nur noch flüssiger Zustand

$\textcircled{!}$ Auch hier ist es allerdings schwer zu unterscheiden,
welche Phase (gasförmig oder flüssig) vorliegt

5.7 Temperatur β : $T = 480^\circ\text{C}$

- Uhrzeit der Temperaturänderung: 17:25
- Uhrzeit des Messungsstarts 17:35

Nr.	$V \text{ in } \text{cm}^3$	$p \text{ in bar}$
1	3,9	180
2	3,5	195
3	3,0	22,0
4	2,5	25,5
5	2,0	29,5
6	1,5	34,0
7	1,0	38,5
8	0,9	39,0
9	0,8	40,0 $\textcircled{\ast}$
10	0,7	40,0
11	0,6	40,5
12	0,5	42,5
13	0,45	43,5

$\textcircled{\ast}$ Ab hier tritt ein "weißer Nebel" auf.

Es ist nicht mehr möglich zu unterscheiden welche Phase gerade vorliegt.

Ein weiterer Messschritt war nicht möglich, da sonst der Druck zu hoch ist.

5.8 Temperatur 8: $T = 53,0^\circ\text{C}$

- Temperaturänderung: 17: 53
- Messstart: 18:03

Nr.	V in cm^3	p in bar
1	3,9	18,0
2	3,5	19,5
3	3,0	22,5
4	2,5	26,0
5	2,0	30,5
6	1,5	35,5
7	1,0	41,5
8	0,8	43,0
9	0,7	44,5
10	0,6	46,0
AA		

5.9 Temperatur ϑ : $T = 58^\circ\text{C}$

- Temperaturänderung: 18:10
- Messstart: 18:20

Nr.	$V \text{ in } \text{cm}^3$	$p \text{ in bar}$
1	3,9	18,5
2	3,5	20,5
3	3,0	23,5
4	2,5	27,0
5	2,0	31,5
6	1,5	37,0
7	1,0	44,0
6	0,7	48,0

6. unterschriften

Bayreuth, 13.01.21

Paul Schwartz

MES: Paul schwartz

Reiff

Protokoll: Anna-Maria Pleyer

ZENSUREN-ÜBERSICHT

Note:

- 1 sehr gut
 - 2 gut
 - 3 befriedigend

- 4 ausreichend
 - 5 mangelhaft
 - 6 ungenügend