

# Physik-PraktikumZUS

## 1. Aufgabe: Messung der Isothermen von Schwefelhexafluorid

### Versuchsaufbau

Ein Glaszylinder mit einer Skala ist mit gasförmigem Schwefelhexafluorid gefüllt und besitzt eine Skala (von oben nach unten: 0 - 4 ml). Um diesen Zylinder ist ein weiterer Zylinder und der Zwischenraum ist mit Wasser gefüllt, so dass mit Hilfe des Wassers der innere Zylinder mit dem Gas möglichst exakt auf eine bestimmte Temperatur gebracht werden kann. Das Wasser wird von einem externen Gerät ständig umgewälzt und mittels Heizstab und Kühlwasser (durchfließendes Leitungswasser) auf die am Gerät jeweils einprogrammierte Temperatur gehalten. Ein elektronisches Thermometer oben im Zwischenraum zwischen dem äußeren und inneren Glaszylinder liefert die exakte Temperatur. Das Gas im Inneren kann durch Quecksilber, das mittels eines Handrades von unten in den inneren Zylinder gepumpt werden kann, komprimiert werden, die Höhe der Quecksilbersäule an der Skala liefert das verbleibende Restvolumen für das Gas.

### Durchführung

Die Temperatur wird auf 30°C am Regelungsgerät eingestellt, die Quecksilbersäule befindet sich ganz unten. Am Thermometer liest man die tatsächliche Temperatur ab. Nun wird das Volumen in 0,25 ml-Schritten erhöht und jeweils der zugehörige Druck notiert und in ein Volumen-Druck-Diagramm eingezeichnet, dies wird so lange fortgesetzt, bis der Druck 40 bar erreicht (maximaler Druck für den Versuchsaufbau). Damit die Kompression adiabatisch ablaufen kann (d.h. die Kompressionsarbeit geht vollständig in [...] über, es geschieht keine Temperaturerhöhung und damit kein Wärmeverlust durch Wärmeleitung, weil Gas und umgebendes Wasser die selbe Temperatur haben), muss das Volumen langsam verkleinert werden. Mit Hilfe einer Lupe wird beobachtet, bei welchem Volumen und Druck das Gas zu kondensieren beginnt (und dieser Wert notiert).

Nach jedem Durchgang wird das Volumen wieder auf das Maximum vergrößert, das Regelungsgerät auf eine neue Temperatur programmiert und einige Minuten gewartet, bis sich das Temperaturgleichgewicht eingestellt hat. Insgesamt wird die Messung, aus Zeitgründen anders als in der Anleitung beschrieben, bei Temperaturen von 30°C, 36°C, 41°C, 45°C und 52°C durchgeführt.

### Messgenauigkeit

- Volumen: Wegen des stark gewölbten Meniskus am oberen Ende der Quecksilbersäule kann man das Volumennur auf ca.  $\pm 0,2$  ml genau ablesen.
- Druck: Die Skala des Manometers hat als kleinste Einteilung 0,5 bar; daher kann der Druck nur auf  $\pm 0,2$  bar genau abgelesen werden.
- Temperatur: Die digitale Temperaturanzeige schwankt während der Versuche um  $\pm 0,1$  °C.

## 2. Versuch: Bestimmung der Stoffmenge im Gasvolumen

### Durchführung

Bei Bedingungen, bei denen das Schwefelhexafluorid sich möglichst wie ein ideales Gas verhält (also möglichst hohe Temperatur und niedriger Druck), nämlich bei einer Temperatur von 52°C und einem Druck von 20 bar und 25 bar wird das Volumen je fünfmal gemessen. Aus den Messergebnissen wird der arithmetische Mittelwert sowie die Messunsicherheit berechnet, und mit dem allgemeinen Gasgesetz

$$p V = n R T ; n = \frac{p V}{R T} ; R = 3,1441 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} ;$$

die Stoffmenge ermittelt.

Druck $p = (25,0 \pm 0,1)$ bar			
Volumen [ml] $\pm 0,01$ ml	Temperatur [°C] $\pm 0,1$ °C	Temperatur[K]	Stoffmenge[mol]
2,47	51,8	324,95	0,00604000
2,47	51,9	325,05	0,00604000
2,48	51,8	324,95	0,00607000
2,49	51,8	324,95	0,00609000
2,49	51,9	325,05	0,00609000
Mittelwert:			0,00606600
Standardabweichung:			0,00002500
Messunsicherheit:			0,00000130

Die Unsicherheit durch Ablesefehler beträgt  $0,05 \cdot 10^{-3}$  mol .

Die gesamte Unsicherheit beträgt also  $u = u_{mess} + u_{ablese} = 5,2 \cdot 10^{-5}$  mol bei einem Vertrauensniveau von 68,26 %.

Druck $p = (20,0 \pm 0,1)$ bar			
Volumen[ml]	Temperatur[°C]	Temperatur[K]	Stoffmenge[mol]
3,29	51,9	325,05	0,00644000
3,3	51,8	324,95	0,00646000
3,28	51,7	324,85	0,00642000
3,28	51,6	324,75	0,00642000
3,28	51,8	324,95	0,00642000
Mittelwert:			0,00643200
Standardabweichung:			0,00001800
Messunsicherheit:			0,00000920

Die Unsicherheit durch Ablesefehler beträgt  $0,05 \cdot 10^{-3}$  mol .

Die gesamte Unsicherheit beträgt also  $u = u_{mess} + u_{ablese} = 5,92 \cdot 10^{-5}$  mol  $\approx 6 \cdot 10^{-5}$  mol bei einem Vertrauensniveau von 68,26 %.

Als Mittelwert der beiden Messreihen ergibt sich eine Stoffmenge von  $(6,25 \pm 0,06) \cdot 10^{-3}$  mol .

### 3. Bestimmung der kritischen Größen $p_k$ und $V_k$ aus der kritischen Isotherme

Die kritische Isotherme wurde nicht genau getroffen. Die graphische Extrapolation (Parabel) aus den darunterliegenden Isothermen ergibt:

$$p_k = (37,3 \pm 0,2) \text{ bar} ; V_k = (0,80 \pm 0,02) \text{ ml} ;$$

#### 4. Kennzeichnung der Bereiche im Diagramm, in denen das Schwefelhexafluorid nur gasförmig, flüssig oder beides ist.

Siehe Diagramm.

#### 5. Vergleich der kritischen Größen und der Verdampfungsenthalpie mit Literaturwerten

Literaturwerte:  $p_k = 38,19 \text{ bar}$ ;  $T_k = 318,71 \text{ K}$ ;

#### 6. Bestimmung der Konstanten $a$ und $b$ der van-der-Waals-Gleichung

$$\text{van-der-Waals-Gleichung: } \left( p + \left( \frac{n}{V} \right)^2 a \right) (V - n b) = n R T; \quad p(V) = \frac{n R T}{V - n b} - \frac{n^2}{V^2} a;$$

Weil am kritischen Punkt die Kurve  $p(V)$  der kritischen Isotherme einen Terrassenpunkt hat, gilt dort:

$$\frac{\partial p}{\partial V} = 0, \quad \frac{\partial^2 p}{\partial V^2} = 0;$$

$$\text{Daraus folgt (ohne Rechnung, aus der Versuchsanleitung):} \quad V_k = 3 b N; \quad p_k = \frac{a}{27 b^2};$$

$$n = \frac{N}{N_A}; \quad N = n \cdot N_A;$$

Messwerte:  $p_k = (37,3 \pm 0,2) \text{ bar}$ ;  $V_k = (0,80 \pm 0,02) \text{ ml}$ ;  $n = (6,25 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ ;

Mitten Messwerten für  $V_k$  und  $p_k$  ergibt sich (für ein einzelnes Teilchen):

$$b = \frac{V_k}{3 N} = (7,09 \pm 0,25) \cdot 10^{17}; \quad a = p_k \cdot 27 \left( \frac{V_k}{3 N} \right)^2 = (5,1 \pm 0,4) \cdot 10^{43};$$

Für ein Mol: Wert mit der Avogadro-Konstante multiplizieren

$$b = \frac{V_k}{3 n} = (4,3 \pm 0,16) \cdot 10^{-5} \text{ mol}^{-1}; \quad a = p_k \cdot 27 \left( \frac{V_k}{3 n} \right)^2 = (0,186 \pm 0,021) \text{ mol}^{-1};$$

#### 7. Bestimmung des Dampfdrucks für die verschiedenen Temperaturen und Bestimmung der Verdampfungsenthalpie

Clausius-Clapeyron-Gleichung:

$$\ln p_D = \frac{-H_D}{R T} + \ln p_0; \quad -R T \ln \frac{p_D}{p_0} = H_D;$$

Dampfdruck  $p_D$ : Der Druck bei der jeweiligen Temperatur, bei dem das Gas in Flüssigkeit umgewandelt wird.

$T \text{ [K]}$	$1/T \text{ [K}^{-1}\text{]}$	$p_D \text{ [} 10^5 \text{ Pa]}$	$\ln p_D$
303,3	0,003297	25,6	14,75
309	0,003236	29,5	14,9
313,3	0,003192	32,3	15
318,2	0,003143	37	15,12

Die Geradengleichung lautet:  $y = m x + t$ ; hier:

$$\ln p_D = \frac{-H_D}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln p_0,$$

also ist die Steigung

$$m = \frac{-H_D}{R}.$$

Aus dem  $1/T$ - $\ln p_D$ -Diagramm ergibt sich, dass die Punkte praktisch auf einer Geraden liegen; eine Ausgleichsgerade überträgt sich dadurch. Die Steigung ergibt:

$$m = -2358 \text{ K}^{-1}; \Rightarrow H_D = -m \cdot R = 1,96 \cdot 10^4 \frac{\text{J}}{\text{mol}};$$

**Frage: Warum sinkt, bzw. steigt der Druck noch eine Zeit, nachdem das Volumen verringert bzw. vergrößert wurde?**

Wird das Volumen verringert, dann wird Kompressionsarbeit am Gas verrichtet, was zu einer Temperaturerhöhung führt (d.h. der Vorgang ist nicht vollkommen isotherm, wie er sein sollte). Wegen der Temperaturregelung wird Wärme abgeführt, bis die Temperatur des Gases wieder gleich der des umgebenden Wassers ist; dies führt gemäß des Gasgesetzes zu einer Druckerniedrigung (das Volumen ist ja vorgegeben: eine isochore Abkühlung). Wegen der geringen Temperaturdifferenz zwischen Gas und Wasser verläuft diese Temperaturangleichung nicht sehr schnell, man kann gut beobachten, wie der Druck langsam sinkt.

Bei der Volumenvergrößerung funktioniert es analog, hier gibt es eine isochore Erwärmung und damit eine Druckerhöhung.