

# Titel

Malte Wendt-Larsen, Lisa Haag

DATUM

## Zusammenfassung

In dieser Ausarbeitung wird das Verhalten realer Gase betrachtet. Dabei werden mithilfe Versuchsaufbau, bei welchem Temperatur und Volumen des verwendeten Gases reguliert werden können, die dabei entstehenden Drücke und die Übergangspunkte von Gas zu Flüssigkeit gemessen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Theorie</b>	<b>1</b>
1.1 Dampfdruckkurve und Verdampfungsenthalpie . . . . .	2
<b>2 Experimentelles Vorgehen</b>	<b>2</b>
2.1 Stoffmenge . . . . .	2
2.2 kritischer Druck und Volumen . . . . .	2
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>2</b>
3.1 Stoffmenge . . . . .	2
3.2 kritischer Druck und kritisches Volumen . . . . .	2
3.3 Verdampfungsenthalpie . . . . .	3
<b>4 Diskussion</b>	<b>4</b>
4.1 Vergleich mit Theoriewerten . . . . .	4
4.2 Variation des Druckes . . . . .	4
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>5</b>
6.1 Literatur . . . . .	5
6.2 Messunsicherheiten . . . . .	5
6.3 Grafiken . . . . .	5

## 1 Theorie

Wird ein Gas als ideal angenommen, beschreibt die ideale Gasgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

den Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Temperatur des Gases. Dabei ist  $R = 8,314462618 \dots \frac{J}{mol \cdot K}$  die universelle Gaskonstante ist und  $n$  die Stoffmenge des Gases welche der Quotient

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (2)$$

aus Teilchenzahl und Avogadro-Konstante  $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$  ist. Liegt allerdings kein ideales Gas vor, so muss man die ideale Gasgleichung mit

$$(p + (\frac{n}{V})^2 \cdot a)(V - n \cdot b) = R \cdot n \cdot T$$

korrigieren. Diese Gleichung nennt man Van der Waals Gleichung. Aus dieser lassen sich die Formeln

$$V_{krit} = 3 \cdot b \cdot n \quad (3)$$

$$p_{krit} = \frac{a}{27 \cdot b^2} \quad (4)$$

herleiten, die den Zusammenhang zwischen den Parametern  $a$  und  $b$  und den kritischen Größen für Druck und Volumen des Gases darstellen. Aufgetragen gegeneinander im Zustandsdiagramm geben kritischer Druck und Volumen den kritischen Punkt, welcher auch durch die kritische Temperatur  $T_{krit}$  beschrieben wird. Dieser Punkt ist ein wichtiger Marker für den Koexistenzbereich, in dem der untersuchte Stoff sowohl flüssig als auch gasförmig vorliegt.

## 1.1 Dampfdruckkurve und Verdampfungsenthalpie

Wenn Flüssigkeit und Gas vorhanden sind, stellt sich ein von der Temperatur abhängiger Dampfdruck ein. Als *Dampfdruckkurve* wird der Graph des Dampfdruckes  $p_d(T)$  über der Temperatur  $T$  bezeichnet, dessen Steigung von der *molaren Verdampfungsenthalpie*  $L$  abhängt.

Quantitativ wird diese Beziehung in der Clausius-Clapeyron-Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{dp_d}{dT} = \frac{L}{T \cdot (V_g - V_{fl})} \quad (5)$$

## 2 Experimentelles Vorgehen

Bei der gesamten Versuchsdurchführung wird Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ), welches sich in einer Glasküvette mit verstellbarem Volumen befindet, in einem Wasserbad mit regulierbarer Temperatur erwärmt. Dabei kann das aktuelle Volumen (in einem Bereich zwischen  $0\text{cm}^3$  und  $4\text{cm}^3$ ) auf der Skala der Glasküvette abgelesen werden und der in der Küvette herrschende Druck mithilfe eines an dem System angebrachten Manometers abgelesen werden.

### 2.1 Stoffmenge

Bei einer konstanten Temperatur, welche über der kritischen Temperatur  $T_{krit}$  liegt, (hier  $52,5^\circ\text{C}$ ) werden in Abständen von  $0,25\text{cm}^3$  bzw.  $0,1\text{cm}^3$  für verschiedene Volumina die dazugehörigen Drücke gemessen. Mithilfe des Produkts von Druck und Volumen lässt sich anschließend die Stoffmenge des Gases bestimmen.

### 2.2 kritischer Druck und Volumen

Durch Auftragen der Gasisothermen bei verschiedenen Temperaturen wie in Abbildung 4 und mithilfe der gemessenen Übergangspunkte zwischen den Aggregatzuständen gasförmig und flüssig, lassen sich durch eine Datenanpassung der Koexistenzbereich, der kritische Punkt und damit auch der kritische Druck und das kritische Volumen bestimmen.

Die selben Messwerte werden auch zur Bestimmung der Verdampfungsenthalpie verwendet

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Stoffmenge

Durch eine Datenanpassung und Extrapolation auf  $\frac{1}{V} \rightarrow 0$  der in Grafik 3 abgebildeten Messdaten, lässt sich ein Produkt aus Druck und Volumen von  $p \cdot V = 7,218\text{Pa} \cdot \text{m}^3$  bestimmen. Daraus ergibt sich mithilfe von Gleichung 1 eine Stoffmenge des Gases von  $n = 2,67 \cdot 10^{-3}$ .

### 3.2 kritischer Druck und kritisches Volumen

Durch eine Datenanpassung der Messwerte, wie sie in Abbildung 4 zu sehen ist, lässt sich ein kritisches Volumen von

$$V_{m,krit.} = 2,7 \cdot 10^{-4}\text{m}^3$$

und ein kritischer Druck von

$$p_{krit} = 34,7401 \cdot 10^5\text{Pa}$$

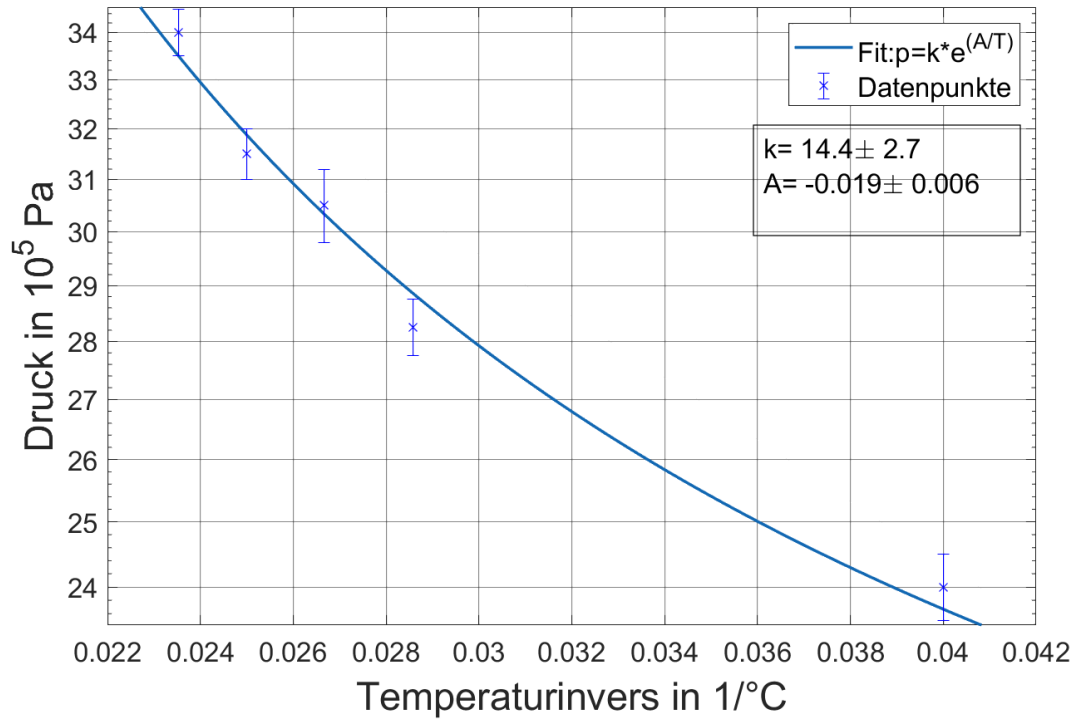


Abbildung 1: Dampfdruck über Temperaturinvers mit Ausgleichskurve

ermitteln. Durch Gleichung 3 und 4 werden anschließend die Parameter a und b sowohl für ein Mol 3

$$b_{mol} = (9,0 \cdot 10^{-5} \pm 2,0 \cdot 10^{-5}) \frac{m^3}{mol}$$

$$a_{mol} = (0,76 \pm 0,13) \frac{Pa \cdot m^6}{mol^2}$$

als auch für ein Teilchen

$$b_{Teilchen} = 1,5 \cdot 10^{-28} \frac{m^3}{mol}$$

$$a_{Teilchen} = 2,1 \cdot 10^{-48} \frac{Pa \cdot m^6}{mol^2}$$

bestimmt. Dabei erhält man die Werte für einzelne Teilchen durch Division der Werte für ein Mol mit der Avogadro-Konstante. Dabei sind die Unsicherheiten für a und b mit jeweils um die 20% Abweichung von dem berechneten Wert. Mit den berechneten Werten lässt sich wahrscheinlich keine sinnvolle Aussage über einzelne Teilchen treffen.

### 3.3 Verdampfungsenthalpie

Um aus den Gemessenen Daten die Verdampfungsenthalpie bestimmen zu können, wird zunächst der Dampfdruck, welcher jeweils dem konstanten Bereich der Isothermen entspricht, in Abbildung 1 über dem inversen der Temperaturen aufgetragen.

Daran wird nun eine Kurve der Form  $p = k \cdot e^{\frac{-A}{T}}$  angepasst und die logarithmische Steigung A ermittelt. Diese Steigung wird nun in Gleichung 5 zusammen mit anderen bereits bestimmten Werten genutzt, um für alle Temperaturen, bei denen Flüssigkeit auftritt, die Verdampfungsenthalpie L zu bestimmen, welche in Graph 2 aufgetragen sind. Das Ergebnis ist von großer Unsicherheit geprägt und passt allein durch das negative Ergebnis nicht zu den Erwarteten Werten. Das Negative Vorzeichen würde bedeuten, dass beim Verdampfen Energie frei wird, dies ist offensichtlich nicht der Realität entsprechend. Ein Fehler in der Auswertung ist wahrscheinlich, konnte aber nicht gefunden werden.

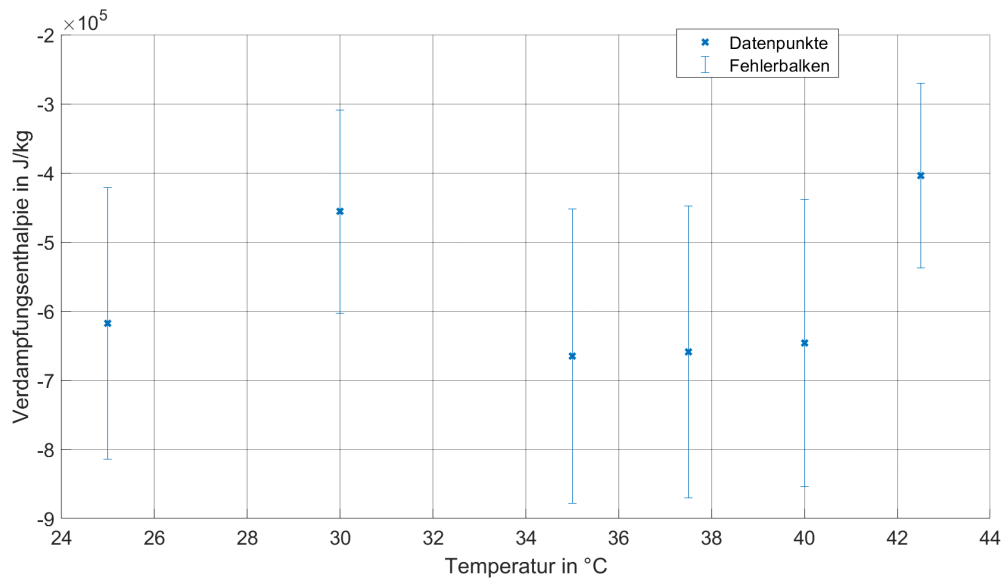


Abbildung 2: Verdampfungsenthalpie  $L$  über der Temperatur

Abgesehen davon ist vor allem die Bestimmung des Beginns des Koexistenzbereiches von großer Unsicherheit geprägt, da das erste Auftauchen von Flüssigkeit leicht übersehen werden kann, beziehungsweise die Flüssigkeit bei sinkendem Druck etwas braucht um zu verdampfen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Vergleich mit Theoriewerten

Die Übereinstimmung der ermittelten Werte mit den ist recht durchwachsen. Als positives Beispiel stimmt der ermittelte Kritische Druck ziemlich gut mit dem Literaturwert [1] überein. Das Kritische Volumen und die Parameter  $a$  und  $b$  weichen von den jeweiligen Literaturwerten [1],[2] ab, sind jedoch noch in der richtigen Größenordnung und können mit der Messungenauigkeit erklärt werden. Die große Abweichung der Verdampfungswärme von der Realität wurde bereits bei 3.3 besprochen, wird jedoch durch den Vergleich mit dem Theoriewert [1] nochmals deutlich.

### 4.2 Variation des Druckes

Nachdem ein neues Volumen eingestellt wird, Variiert der Druck noch eine Weile. Dazu lassen sich mehrere Gründe vermuten.

Zum einen wird durch die Änderung des Volumens immer auch die Temperatur geändert, da die im Gas enthaltene Thermische Energie sich über ein anderes Volumen verteilt. Durch den Thermostat wird die Temperatur wieder geregelt, dies dauert aber ein wenig. Auch ist durch das kleine Volumen zu vermuten, dass Druckänderungen nicht sofort gleichmäßig sind, sondern sich erst ausgleichen müssen. Dieser Einfluss ist jedoch wahrscheinlich recht gering, da die Ausgleichbewegungen vermutlich mit Schallgeschwindigkeit vor sich gehen.

## 5 Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich sagen, dass auch wenn die Implementation noch nicht völlig erfolgreich war die Prinzipien der Theorie und Messmethodik erfolgreich erfasst und verinnerlicht werden konnten.

## 6 Anhang

### 6.1 Literatur

1. TUM, Anfängerpraktikum 1, Schwefelhexafluorid TDB, [https://www.moodle.tum.de/pluginfile.php/3501088/mod\\_resource/content/1/Schwefelhexafluorid\\_TDB.pdf](https://www.moodle.tum.de/pluginfile.php/3501088/mod_resource/content/1/Schwefelhexafluorid_TDB.pdf)
2. Weitere Daten zu  $SF_6$ : <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Schwefelhexafluorid>

### 6.2 Messunsicherheiten

Bei den gemessenen Drücken wird aufgrund der Skalierung des Manometers eine Ableseungenauigkeit und somit eine Unsicherheit von  $0,5 \cdot 10^5$  Pa angenommen. Für das Volumen wird aufgrund der Skalierung der Glasküvette eine Ableseungenauigkeit von  $5 \cdot 10^{-8} m^3$  angenommen. Für das molare Volumen ergibt sich ein Fehler von

$$\Delta V_{mol} = \frac{R \cdot T}{p^2} \cdot \Delta p$$

und somit für b ein Fehler von

$$\Delta b = \frac{\Delta V_{mol}}{3}$$

und für a ein Fehler von

$$\Delta a = 27(b^2 \cdot \Delta p_{krit} + 2 \cdot b \cdot p_{krit} \cdot \Delta b)$$

Setzt man für p einen mittleren Druck von  $25,25 \cdot 10^5$  Pa und eine Durchschnittstemperatur von  $41^\circ C = 314,15 K$  ein, erhält man für das molare Volumen eine Unsicherheit von  $\Delta V_{mol} = \pm 2,0 \cdot 10^{-5}$ , für b eine Unsicherheit von  $\Delta b = \pm 6,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{mol}$  und für a eine Unsicherheit von  $\Delta a = \pm 0,13 \frac{Pa \cdot m^6}{mol^2}$

### 6.3 Grafiken

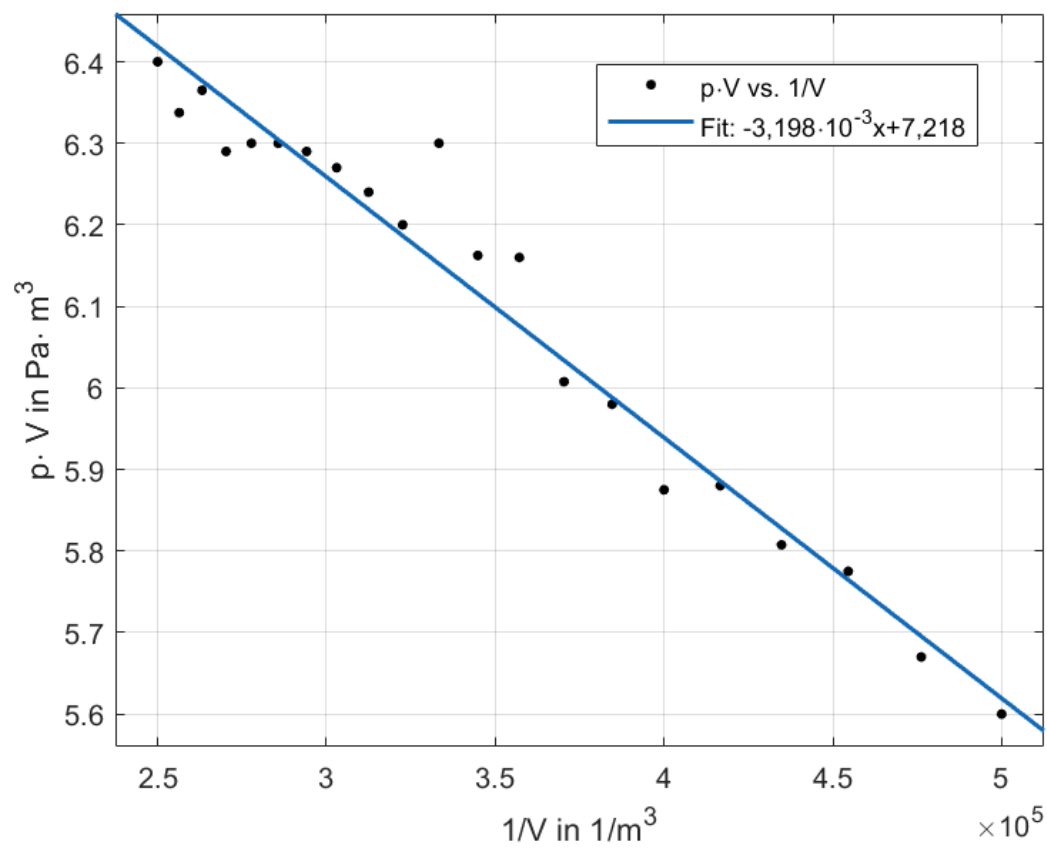


Abbildung 3: Temperatur: 52,5= 325,65 K

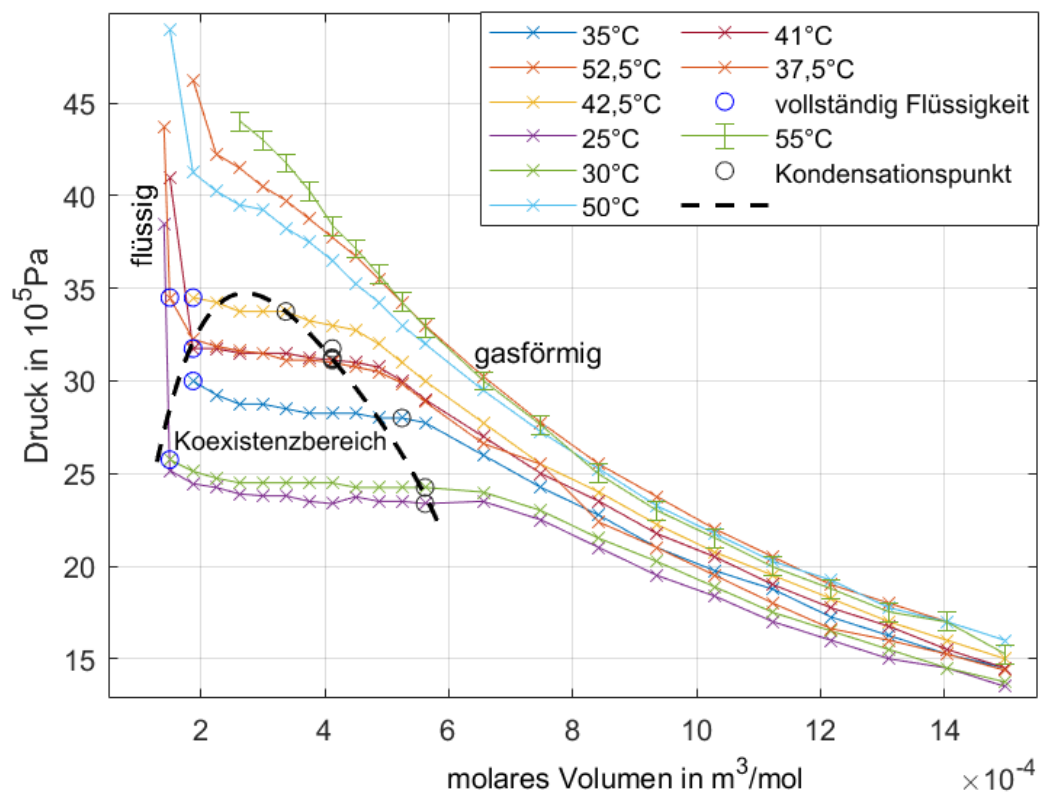


Abbildung 4: Isothermen des Gases bei verschiedenen Temperaturen