

# Versuchsbericht

## 1 Versuchsziele

Ziel des Versuchs war es durch die Messung der Dampfdruckkurve von Wasser, also den Druck in Abhängigkeit von der Temperatur während der Abkühlphase bei festem Volumen, die molare Verdampfungsenthalpie von Wasser zu bestimmen. Der Dampfdruck ist ein Gleichgewichtsdruck, der sich einstellt, wenn sowohl die flüssige Phase, als auch die gasförmige Phase im Gleichgewicht sind bei hinreichender Größe des Volumens. Die molare Verdampfungsenthalpie ist die Wärme, die ein Mol Flüssigkeit aufnimmt, um in die Gasphase übergehen zu können, und wird auch latente Wärme genannt. Theoretische Grundlagen Hintergrund ist die Clausius-Clapeyron-Gleichung, die aus den ersten beiden Hauptsätzen der Thermodynamik folgt. Der erste Hauptsatz behandelt dabei die Energieerhaltung:

$$\text{Formel} \tag{1}$$

Der zweite die Umwandelbarkeit von verschiedenen Energieformen ineinander, was oft mit Hilfe der Entropie formuliert wird:

$$\text{Formel} \tag{2}$$

Daraus folgt für einen infinitesimalen Prozess entlang der Grenzkurve:

$$\text{Formel} \tag{3}$$

Und weiter:

$$\text{Formel} \tag{4}$$

Bis schließlich die Clausius-Clapeyron-Gleichung

$$\text{Formel} \tag{5}$$

folgt. Daraus kann man durch Integrieren einen Zusammenhang zwischen dem Druck  $p$  und der Temperatur  $T$  herauslesen, der über Naturkonstanten und die molare Verdampfungsenthalpie  $\Lambda$  gegeben ist.

## 2 Versuchsaufbau

Ein Rundkolben, der an einem Stativ befestigt ist, befindet sich über einem mit einem Laborheber in der Höhe einstellbaren Heizpilz. Der Kolben hat einen abgedichteten Einlass für den Temperatursensor und oben wird mit dichten Schläuchen ein Drucksensor (Absolutdrucksensor S (524065)) angebracht und ebenso die Zuleitung zu einem Dreiwegehahn gelegt, von dem ein weiteres Ende mit einer Handpumpe verbunden wird. Ein Ausgang ist mit der Umgebung verbunden. (vgl. Abb. 1) Ein Becherglas mit Eiswasser und ein Becherglas mit unbearbeitetem Wasser stehen bereit. Zur Datensammlung und -auswertung wird ein Cassy-System mit den zugehörigen Sensoren verwendet. Versuchsdurchführung Der Temperatursensor ist auf ein Intervall von  $-20^\circ\text{C}$  bis  $120^\circ\text{C}$  eingestellt, der Drucksensor auf ein Intervall von 0 hPa-1500 hPa

## 3 Rauschmessung

Bei Raumtemperatur und Umgebungsdruck findet eine 'Leerlauf'-Messung statt, um den statistischen Fehler der Messgeräte gut abschätzen zu können. Dabei wird ein kurzes Zeitintervall bei hoher Messrate ausgewertet. Einstellungen: Messung alle 10ms, 16000 mal  $\hat{=}$  3min

## 4 Kalibrierung des Thermosensors

[Sollen wir die Gasdichtigkeit vorziehen, um  $T_0$  und  $T_{100}$  in einem Punkt beschreiben zu können oder so tun, als wäre das Thermometer bei der Gasdichtigkeitsmessung im Kolben gewesen, und wir hätten davor  $T_0$  gemessen, weil am Aufbau nichts mehr verändert werden sollte?]

Die Temperatur in Eiswasser wird zunächst gemessen, deren theoretischer Wert  $0^\circ\text{C}$  ist. Dazu wird Eis mit ein wenig Wasser gemischt und gewartet, bis ein Temperatursgleichung stattgefunden hat, der, solange noch festes Eis vorhanden ist, bei  $0^\circ\text{C}$  sein sollte, und die 7s Ansprechzeit, die der Sensor nach

Angaben des Herstellers hat, verstrichen ist. Später, wenn das Wasser siedet, wird noch dessen Siedetemperatur bestimmt, die 100degC sein sollte. Mit einem linearen Modell kann man nun  $T_{real}(T_{gemessen})$  bestimmen. Einstellungen: Messung alle 100ms, insgesamt 3 Minuten lang.

3. Gasdichtigkeit Um festzustellen, wie gasdicht der Aufbau ist, wird mit der Handpumpe im Kolben ein Unterdruck von etwa 190hPa absolut erzeugt. Dann wird über einen Zeitraum von 10 Minuten der Druck gemessen, um hinterher mit Hilfe einer linearen Regression die Leckrate bestimmen zu können, die nicht höher sein sollte als 0.2 mbar/min [*sollenwir0.07schreiben?*], um zu gewährleisten, dass die gemessenen Druckwerte während der Hauptmessung nicht zu stark verfälscht werden. Einstellungen: Messung alle 100ms, insgesamt 3 Minuten lang.

4. Hauptmessung Durch den zuvor erzeugten Unterdruck kann über den Dreiwegehahn Wasser in den Rundkolben gesaugt werden, bis dieser etwa halb voll ist. Mit Hilfe des Heizpilzes wird das Wasser bei Kontakt zur Umgebung zum Kochen gebracht und so lange kochen gelassen, bis der entstehende Wasserdampf sämtliche Restluft aus dem Rundkolben gedrückt hat. Dies prüft man, indem man den Verbindungsschlauch zur Umgebung in ein Wasserbad hält. Der Wasserdampf kondensiert sofort, das heißt, solange Blasen aufsteigen, befindet sich noch Luft im Rundkolben, deren Partialdruck die Messung verfälschen würde. In dieser Zeit wird auch die Kalibrierung bei 100degC durchgeführt. Schließlich wird der Heizpilz schnell mit dem Laborheber heruntergefahren und die Messung des Dampfdrucks und der Gastemperatur gestartet. Später sollen die Ergebnisse p und T in der Form  $\ln(p/p_0)$  gegen  $1/T - 1/T_0$  aufgetragen werden, um aus der Steigung des Graphen  $\Lambda$  zu bestimmen. Einstellungen: Messung alle 100ms, unbegrenzte Messdauer (Ende bei t???)

#### 5. Gasdichtigkeit 2

Nach der eigentlichen Versuchsdurchführung kann eine weitere Gasdichtigkeitsmessung wie 3. Durchgeführt werden, um zu gewährleisten, dass sich die Leckrate am Aufbau nicht verändert hat. Diese entfällt aber bei uns, da keine Zeit mehr ist.

Auswertung –7sAnsprechzeit? **T100 wirklich 100 Grad bei unserem Druck?** 1. Rauschmessung Die Rauschmessung umfasst 3326 Datenpunkte, bei denen der Temperatursensor in Ruhe die als konstant angenommene Raumtemperatur gemessen hat, der Absolutdrucksensor zugleich den konstanten Umgebungsdruck. Dabei soll die Streuung der Werte um den Mittelwert erarbeitet werden, um den statistischen Fehler für alle folgenden Messungen abschätzen zu können. Die Ergebnisse sind wie folgt: Die Temperaturmessung ergab einen Mittelwert von etwa 25.1580degC mit einer Standardabweichung von 0.0444degC. [**Wie viele Nachkommastellen?**] Daraus ergibt sich ein statistischer Fehler von 0.00077deg. (vgl. Abb.X) Die Druckmessung lieferte einen Mittelwert von 984.796 hPa mit einer Standardabweichung von 0.184 hPa und einem Fehler von 0.00319 hPa. (vgl. Abb.X) 2.