

8 Der Dampfdruck von Wasser

Bringt man in ein zuvor evakuiertes Gefäß eine Flüssigkeit ein, die es nur zum Teil erfüllt, so verdampft ein Teil der Flüssigkeit, und über ihr stellt sich ein für sie charakteristischer Druck ein, den man als ihren Sättigungsdampfdruck p_s bezeichnet. Die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks $p(T)$ wird durch die CLAUSIUS-CLAPEYRON-Gleichung beschrieben, die man mit Hilfe eines CARNOT-Kreisprozesses ableiten kann. Es wird empfohlen, diese Zusammenhänge an Hand der Darstellung im Gerthsen oder Bergmann-Schaefer zu erarbeiten.

8.1 Stichworte

Reale Gase, Van-der-Waals-Gleichung, Co-Volumen, Binnendruck, Verdampfungswärme, Latente Wärme, Phasenübergang (1. Ordnung, 2. Ordnung), Clausius-Clapeyron-Gleichung, Dampfdruck, Sättigung, Luftfeuchte, Carnot Prozess, Verdunstung.

8.2 Literatur

NPP: 14, 16, 17; Walcher: 3.3; Gerthsen; BS-1: Kap. XI; Dem-1; Geschke.

8.3 Zubehör

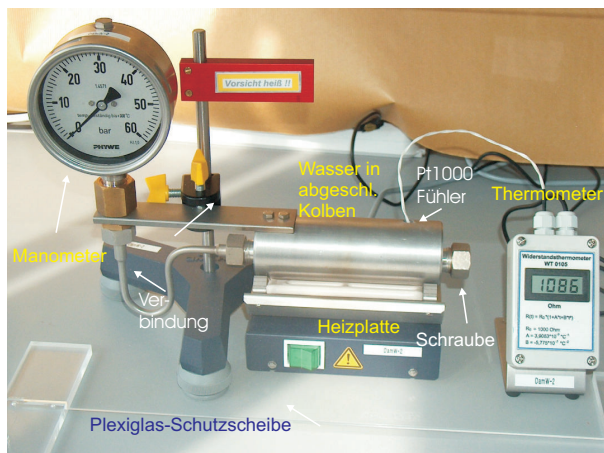


Bild 8.1: Der Versuch »Dampfdruck von Wasser«.

Bild 8.1 zeigt ein Foto des Versuches mit Zubehör: Ein Dampfdruckmanometer mit Wasserreservoir, Heizplatte, 1 Widerstandsthermometer mit Pt1000 Messfühler, Schutzwand.

8.4 Grundlagen

8.4.1 Dampfdruck

Dieser Versuch führt in die Bedeutung der realen Gasgleichung und der latenten Wärme für reale, thermodynamische Prozesse ein. Die reale Gasgleichung lautet für die Stoffmenge von 1 mol:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT. \quad (8.1)$$

Für Wasser betragen die Van-der-Waals-Konstanten $a=0,5537 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6$ (Binnendruck) und $b=3,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ (Eigenvolumen). Der kritische Punkt lässt sich hieraus einfach berechnen:

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}. \quad (8.2)$$

Weiter lässt sich hieraus der Dampfdruck p_S (Sättigungsdampfdruck) von Wasser ableiten. Aus dem 2. Hauptsatz der Wärmelehre lässt sich allerdings ebenfalls ein Zusammenhang zwischen der molaren Verdampfungswärme Λ_V und der Dampfdruckänderung dp_S/dT mit der Temperatur T ableiten:

$$\Lambda_V = T \frac{dp_S}{dT} (V_D - V_{fl}), \quad (8.3)$$

wobei V_D und V_{fl} die Mol-Volumina in der Dampfphase bzw. der Flüssigkeit angeben. Dies lässt sich für nicht zu hohe Drücke ($V_D \gg V_{fl}$) auch schnell zu der Dampfdruckformel

$$p_S = p_0 \cdot \exp \left[\frac{\Lambda_V}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (8.4)$$

umformen. Dabei ist p_0 der Druck bei der absoluten Temperatur T_0 , meist wird $p_0 = 1 \text{ bar}$ (1 013 hPa) gewählt, T_0 entspricht dann der Siedetemperatur T_S (373,15 K bei Wasser). Die Verdampfungswärme von Wasser beträgt $\Lambda_V=40\,642 \text{ J/mol}$ (bei 1 013 hPa).

8.4.2 Widerstandsthermometer

Im Versuch wird ein Pt1000 Widerstandsthermometer verwendet. Pt1000 bedeutet dabei, dass der Messfühler aus reinem Platin besteht und bei der Temperatur von 0°C einen Widerstand von genau $1\,000 \, \Omega$ hat. Für Temperaturen $\vartheta > 0^\circ\text{C}$ steigt der Widerstand R mit der Temperatur an:

$$R(\vartheta) = R_0 \cdot (1 + A\vartheta + B\vartheta^2). \quad (8.5)$$

Die Koeffizienten betragen für Pt: $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \, ^\circ\text{C}^{-1}$ und $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \, ^\circ\text{C}^{-2}$. Der aktuelle Widerstand wird über eine Konstantstromquelle und Spannungsmessung über einen Messverstärker ermittelt und ausgegeben. Der resultierende Fehler der Temperaturbestimmung mit dem Widerstandsmessfühler liegt bei $\Delta\vartheta = \pm (0,3^\circ\text{C} + 0.005\vartheta)$.

8.5 Fragen

1. Wie lautet die VAN-DER-WAALS-Gleichung, also die Zustandsgleichung für reale Gase? Was bedeuten in dieser Gleichung die Parameter a und b ? Wie kommt man von der Zustandsgleichung für ideale Gase ($pV = nRT$) auf die Van-der-Waals-Gleichung?
2. Zeichnen Sie die Isothermen der van-der-Waals-Gleichung im p - V -Diagramm. Warum wird sich ein System *nicht* so verhalten? Erläutern Sie dies bitte anhand des zweiten Hauptsatzes.
3. Wie werden die Isothermen demnach korrigiert? Was muss an diesen MAXWELL-Geraden passieren? Das Druckplateau repräsentiert den Dampfdruck. Wie verhält sich dieser mit der Temperatur?
4. Leiten Sie bitte die Clausius-Clapeyron-Gleichung und aus dieser die Dampfdruckkurve her (Bedienen Sie sich eines Carnot-Prozesses und erklären Sie diesen).
5. Was ist der Unterschied zwischen »Verdampfen« und »Verdunsten« (offenes und geschlossenes Gefäß)?
6. Was ist ein Widerstandsthermometer und was bedeutet in diesem Zusammenhang Pt1000.

8.6 Durchführung

1. Bitte Sicherheitshinweise unter »Bemerkungen« beachten!
2. Im Regelfall ist das Gerät ohne weitere Maßnahmen sofort betriebsbereit. Sollten Undichtigkeiten oder andere Probleme auftauchen, bitte den Praktikumsstechniker verständigen.
3. Der mit Wasser gefüllte Kolben mit verbundenem Manometer wird mit dem Heizstrahler langsam erwärmt. Die Druckänderung wird als Funktion der Temperatur $p(T)$ am Manometer abgelesen. Da das Manometer nur eine grobe Skala hat, empfiehlt es sich eine *gute* Druckeinstellung (auf Skalenteil oder Hälfte davon) abzuwarten und den zugehörigen Widerstand (Temperatur) zu notieren.¹ Beenden Sie das Heizen bei 1 900 Ω (240 °C) oder bei 45 bar, je nachdem was zuerst eintritt.
4. Schalten Sie die Heizplatte ab. Wiederholen Sie bitte die Messung bei Abkühlung des Kolbens.

8.7 Angaben

Der Dampfdruck von Wasser bei 20 °C beträgt 23,3 hPa. Berücksichtigen Sie dies bei Bedarf bei Ihrer Auswertung.

8.8 Auswertung

1. Man trage die Druckkurve als Arrheniusplot auf ($\ln(p) = f(1/T)$). Tragen Sie bitte sowohl die Erwärmungs- als auch die Abkühlkurve des Dampfdruckes $p(T)$ separat auf.

¹ Es kann erwartet werden, dass sich messbare Drücke erst bei Temperaturen um die 100 °C einstellen werden.

2. Man berechne aus beiden Kurven die Verdampfungswärme Λ_V des Wassers. Durch Extrapolation der gezeichneten Geraden bestimme man den Siedepunkt T_S des Wassers unter Normaldruck und den Dampfdruck des Wassers bei 0 °C. Vergleichen Sie diese Werte bitte mit den Literaturangaben (z.B. Walcher, Praktikum der Physik [89]).
3. **Siedetemperatur von Wasser auf der Zugspitze:** Berechnen Sie bitte die Siedetemperatur von Wasser auf der Zugspitze. Die Zugspitze, die höchste Erhebung Deutschlands, hat eine Höhe von 2962 m über NN. Benutzen Sie hierfür die barometrische Höhenformel und die Gleichung von Clausius-Clapeyron. Die Siedetemperatur ist definiert als die Temperatur, bei der der Dampfdruck einer Flüssigkeit gleich dem auf ihr lastenden Umgebungsdruck wird.

8.9 Bemerkungen

Bitte beachten Sie die folgenden Sicherheitshinweise:

- Während des Betriebes kann die Apparatur sehr heiß werden. Es besteht Verbrennungsgefahr. Nicht anfassen. Bei Problemen bitte den Praktikumsstechniker rufen, der mit Schutzhandschuhen und Schlüssel die Dichtungen wieder nachziehen kann.
- Das Gerät steht unter hohem Druck, und darf nicht geöffnet werden.
- Das Gerät arbeitet von 100 bis 250 °C und bis zu einem Druck von 50 bar.
- Das Gerät darf nicht plötzlich abgekühlt werden.
- Durch Temperaturerhöhung und unterschiedliche Wärmeausdehnungen (Kupfer/Alu) können Undichtigkeiten entstehen, die zu plötzlichem Dampfaustritt führen können. Deshalb nicht zu dicht an das Gerät treten und immer hinter der Plexiglas-Schutzwand bleiben (Gesicht und Augen schützen!).