

Dampfdruck im Vakuumbehälter

Theorie

1. Verdunstung im geschlossenen Behälter

In einem geschlossenen Behälter können Wasserteilchen aus der Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand übergehen. Gleichzeitig können Wasserteilchen aus dem Dampf wieder in die Flüssigkeit zurückkehren.

Wenn beide Vorgänge gleich schnell ablaufen, ist das System im Gleichgewicht. Dann ist der Druck des Wasserdampfes gleich dem Dampfdruck bei der jeweiligen Temperatur.

2. Dampfdruck

Der Dampfdruck ist der Druck, den der Dampf über einer Flüssigkeit ausübt. Er hängt stark von der Temperatur ab.

Temperatur	Dampfdruck von Wasser
20°C	2.34 kPa
100°C	101 kPa
350°C	16529 kPa

3. Ideale Gasgleichung

Für den Wasserdampf verwenden wir näherungsweise die ideale Gasgleichung:

$$pV = nRT$$

p = Druck
 V = Gasvolumen
 n = Stoffmenge
 R = Gaskonstante
 T = Temperatur in Kelvin

$$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$n = \frac{pV}{RT}$$

4. Stoffmenge und Masse

Aus der Stoffmenge berechnet man die Masse mit:

$$m = n \cdot M$$

Fuer Wasser gilt:

$$M_{\text{Wasser}} = 18.0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

5. Veraenderliches Gasvolumen

Wenn Wasser verdampft, nimmt das Volumen der Fluessigkeit ab. Dadurch wird das Gasvolumen im Behaelter groesser.

Wir rechnen naeherungsweise mit:

$$1.0 \text{ g Wasser} \approx 1.0 \text{ ml}$$

Wenn m Gramm Wasser verdampfen, wird der Gasraum um m Milliliter groesser. In Kubikmetern gilt:

$$V = 0.0010 + m \cdot 10^{-6}$$

Dabei ist m die Dampfmasse in Gramm.

6. Kritische Temperatur

Oberhalb der kritischen Temperatur gibt es keine Grenze mehr zwischen Flüssigkeit und Gas. Bei Wasser liegt die kritische Temperatur bei etwa

$$T_{\text{krit}} = 374^{\circ}\text{C}.$$

Bei Temperaturen oberhalb von 374°C kann man deshalb keinen Sättigungsdampfdruck und keine Dampfmasse im Gleichgewicht mit flüssigem Wasser berechnen.

Aufgabe

Ein vakuumdichter Behälter hat ein Volumen von

$$V_{\text{ges}} = 2.0 \text{ l.}$$

Der Behälter ist zuerst leer, also auch ohne Luft. Dann wird

$$1.0 \text{ l}$$

Wasser hineingelassen.

Damit bleibt für den Wasserdampf näherungsweise ein Gasvolumen von

$$V \approx 1.0 \text{ l} = 0.0010 \text{ m}^3.$$

Im Gleichgewicht ist der Druck des Wasserdampfs gleich dem Dampfdruck bei der jeweiligen Temperatur.

Berechne mit

$$pV = nRT$$

die Masse des Wasserdampfs im Gleichgewicht bei:

1. 20°C
2. 100°C mit veränderlichem Gasvolumen
3. 350°C mit veränderlichem Gasvolumen

Prüfe am Ende, ob sich bei allen Temperaturen ein Sättigungsdampfdruck einstellen kann.

Loesung

Das Gasvolumen betraegt:

$$V = 1.01 = 0.0010 \text{ m}^3$$

Die molare Masse von Wasser ist:

$$M_{\text{Wasser}} = 18.0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Aus der idealen Gasgleichung folgt:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

a) Bei 20°C

$$T = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$p = 2.34 \text{ kPa} = 2340 \text{ Pa}$$

$$n = \frac{2340 \cdot 0.0010}{8.314 \cdot 293}$$

$$n \approx 0.000961 \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M_{\text{Wasser}}$$

$$m \approx 0.000961 \cdot 18.0$$

$$\boxed{m \approx 0.017 \text{ g}}$$

b) Bei 100°C

$$T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$$

$$p = 101 \text{ kPa} = 101000 \text{ Pa}$$

Bei 100°C beruecksichtigen wir, dass das Gasvolumen groesser wird, wenn Wasser verdampft.

$$V = 0.0010 + m \cdot 10^{-6}$$

Dabei ist m die Dampfmasse in Gramm.

$$pV = nRT$$

$$101000 \cdot (0.0010 + m \cdot 10^{-6}) = \frac{m}{18.0} \cdot 8.314 \cdot 373$$

$$101 + 0.101m = 172.3m$$

$$101 = 172.2m$$

$$m \approx 0.587 \text{ g}$$

Das Gasvolumen ist dann:

$$V = 1.0001 + 0.587 \text{ ml}$$

$$V \approx 1.0006 \text{ l}$$

$$\boxed{m \approx 0.59 \text{ g}}$$

c) Bei 350°C

$$T = 350 + 273 = 623 \text{ K}$$

$$p = 16529 \text{ kPa} = 16529000 \text{ Pa}$$

Auch hier ist das Gasvolumen unbekannt, weil ein Teil des Wassers verdampft:

$$V = 0.0010 + m \cdot 10^{-6}$$

$$16529000 \cdot (0.0010 + m \cdot 10^{-6}) = \frac{m}{18.0} \cdot 8.314 \cdot 623$$

$$16529 + 16.529m = 287.8m$$

$$16529 = 271.3m$$

$$m \approx 60.9 \text{ g}$$

Das Gasvolumen ist dann:

$$V = 1.0001 + 60.9 \text{ ml}$$

$$V \approx 1.0611$$

$$\boxed{m \approx 61 \text{ g}}$$

Kontrolle

In den Behälter wurde

$$1.01 \approx 1.0 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

Wasser gegeben.

Auch bei 350°C sind nur etwa

$$61 \text{ g}$$

Wasser als Dampf vorhanden.

Es bleibt also in allen drei Fällen flüssiges Wasser übrig. Darum kann sich der jeweilige Sättigungsdampfdruck einstellen.