



$V_{\text{tot}} = 5000 \text{ dm}^3$

$$V_{\text{Br}_2(1), 0} = 5\text{m}^3 \quad \Delta m = -1500\text{ kg}$$

$$\Delta V_{\text{Br}_2, 1} = \frac{\Delta m_{\text{Br}_2, 1}}{\rho_{\text{Br}_2, 1}} = \frac{-1500\text{ kg}}{3.12 \cdot 10^3\text{ kg m}^{-3}} = -0.4808\text{ m}^3$$

$$V_{\text{g}} = -\Delta V_{\text{Br}_2, 1} = 0.4808\text{ m}^3$$

$$p_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot R \cdot T}{V}$$

$$p_{\text{N}_2} = \frac{n_{\text{N}_2} \cdot R \cdot T}{V}$$

$$\frac{p_{\text{H}_2}}{p_{\text{N}_2}} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{N}_2}} = \frac{\frac{m_{\text{H}_2}}{M_{\text{H}_2}}}{\frac{m_{\text{N}_2}}{M_{\text{N}_2}}}$$

$$= \frac{\frac{1 \text{ g}}{2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{10^3 \text{ g}}{28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = \frac{14}{10^3} = 1.4 \cdot 10^{-2}$$



$$\mu_{\text{Br}_2,\text{l}} = \mu_{\text{Br}_2,\text{g}}$$

$$\mu_{\text{Br}_2,\text{l}} = \mu_{\text{Br}_2,\text{l}}^{\circ} = \mu_{\text{Br}_2,\text{g}} = \mu_{\text{Br}_2,\text{g}}^{\circ} + RT \ln p_{\text{Br}_2}^{\bullet}$$

$$\mu_{\text{Br}_2,\text{l}}^{\circ} = \mu_{\text{Br}_2,\text{g}}^{\circ} + RT \ln p_{\text{Br}_2}^{\bullet}$$

$$\ln p_{\text{Br}_2}^\bullet = \frac{\mu_{\text{Br}_2, \text{l}}^\circ - \mu_{\text{Br}_2, \text{g}}^\circ}{RT} = \frac{\Delta_{\text{f}} G_{\text{Br}_2, \text{l}}^\circ - \Delta_{\text{f}} G_{\text{Br}_2, \text{g}}^\circ}{RT}$$

$$\ln p_{\text{Br}_2}^\bullet = \frac{\mu_{\text{Br}_2, \text{l}}^\circ - \mu_{\text{Br}_2, \text{g}}^\circ}{RT} = \frac{0 - 3.110 \cdot 10^3 \text{ Jmol}^{-1}}{8.31 \text{ Jmol}^{-1} \text{K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}} = -1.256$$

$$p_{\text{Br}_2} = 0.285 \text{ bar}$$

$$p = p_{\text{N}_2} + p_{\text{Br}_2} + p_{\text{H}_2} = (1.20 + 0.285 + 0.0168) \text{ bar} = 1.50 \text{ bar}$$

Reaktionsentropie

Die Entropie nimmt in Reaktionsrichtung von links nach rechts zu, weil aus 1 Gas- und 1 Flüssigmolekül 2 Gasmoleküle werden.

Die Gleichgewichtskonstante



$$\begin{aligned}\Delta_r G^\circ &= 2 \cdot \mu^\circ_{\text{HBr, g}} - \mu^\circ_{\text{Br}_2, \text{l}} - \mu^\circ_{\text{H}_2, \text{g}} \\ &= 2 \cdot \Delta_f G^\circ_{\text{HBr, g}} - \Delta_f G^\circ_{\text{Br}_2, \text{l}} - \Delta_f G^\circ_{\text{H}_2, \text{g}}\end{aligned}$$

Partialdrücke der gasförmigen Stoffe im Gleichgewicht

Da K extrem gross ist, liegt das Gleichgewicht vollständig auf der Seite der Produkte. D.h. aller Wasserstoff reagiert zu HBr.

$$\rightarrow p_{\text{HBr}} = 2 \cdot p_{\text{H}_2}(0). \quad p_{\text{HBr}} = 0.0336 \text{ bar}$$

$$p_{\text{H}_2} \approx 0 \text{ bar}$$

Sublimation von Ammoniumchlorid



$$-\mu_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})} + \mu_{\text{NH}_3(\text{g})} + \mu_{\text{HCl}(\text{g})} = 0$$

$$\mu_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})} = \mu_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})}^\circ$$

$$\mu_{\text{NH}_3(\text{g})} = \mu_{\text{NH}_3(\text{g})}^\circ + RT \ln p_{\text{NH}_3(\text{g})}^\bullet$$

$$\mu_{\text{HCl}(\text{g})} = \mu_{\text{HCl}(\text{g})}^\circ + RT \ln p_{\text{HCl}(\text{g})}^\bullet$$

$$-\mu_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})}^\circ + \mu_{\text{NH}_3(\text{g})}^\circ + RT \ln p_{\text{NH}_3(\text{g})}^\bullet + \mu_{\text{HCl}(\text{g})}^\circ + RT \ln p_{\text{HCl}(\text{g})}^\bullet = 0$$

$$-\mu_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})}^\circ + \mu_{\text{NH}_3(\text{g})}^\circ + \mu_{\text{HCl}(\text{g})}^\circ + RT \left(\ln p_{\text{NH}_3(\text{g})}^\bullet + \ln p_{\text{HCl}(\text{g})}^\bullet \right) = 0$$

$$K = \frac{a_{\text{NH}_3,\text{g}} \cdot a_{\text{HCl},\text{g}}}{a_{\text{NH}_4^+\text{Cl}(\text{s})}} = \frac{p_{\text{NH}_3,\text{g}}^\bullet \cdot p_{\text{HCl},\text{g}}^\bullet}{1}$$

Wert von K bei 600 K

Dazu gibt es drei Varianten:

- Direkte Verwendung der Daten bei 600 K.
- Verwendung der Daten bei 298 K und Umrechnen von $\Delta_r G^\circ$ auf 600 K.
- Umrechnen von K_{298} auf K_{600} .

1. Variante

$$\Delta_{\text{r}} G^{\circ}_{600\text{K}} = \Delta_{\text{r}} H^{\circ}_{600\text{K}} - T \cdot \Delta_{\text{r}} S^{\circ}_{600\text{K}}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{r}} G^{\circ}_{600\text{K}} &= 164.169 \text{ kJ mol}^{-1} - 600 \text{ K} \cdot 256.861 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1} \\ &= 10.052 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$K_{600} = e^{\frac{-\Delta_{\text{r}} G^{\circ}}{RT}} = 0.133$$

2. Variante ($\Delta_r S^\circ$ konstant)

$$\Delta_r G^\circ_{298\text{K}} = 91.419 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned}\Delta_r G^\circ_{600\text{K}} &= \Delta_r G^\circ_{298\text{K}} - \Delta_r S^\circ_{298\text{K}} \cdot (600 \text{ K} - 298 \text{ K}) \\ &= 13.886 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$K_{600} = e^{\frac{-\Delta_r G^\circ}{RT}} = 0.062$$

3. Variante ($\Delta_r H^\circ$ konstant)

$$\ln K_{600} = \ln K_{298} - \frac{\Delta_r H_{298}^\circ}{R} \left(\frac{1}{600 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$\Delta_r G_{298\text{K}}^\circ = 91.419 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \rightarrow \quad \ln K_{298} = -36.878$$

$$\ln K_{600} = -1.099 \quad K_{600} = 0.333$$

Temperatur-Erhöhung:

K nimmt zu, da die Reaktion endotherm ist.
Das Gleichgewicht verschiebt sich zu Gunsten der Produkte.

Druck-Erhöhung:

K bleibt gleich.

Partialdrücke von NH₃ und von HCl bei 600 K

$$p(\text{NH}_3) = p(\text{HCl})$$

$$p_{\text{tot}} = p(\text{NH}_3) + p(\text{HCl}) = 2p(\text{NH}_3)$$

$$K = \left(p_{\text{NH}_3, \text{g}}^\bullet \right)^2 = \left(\frac{p_{\text{tot}}^\bullet}{2} \right)^2 \quad p_{\text{NH}_3, \text{g}}^\bullet = \sqrt{K}$$

Für $K = 0.133$ \rightarrow $p_{(\text{NH}_3)} = 0.365 \text{ bar}$



Stoffmenge $n^\circ_{\text{NH}_3}$ limitiert den Umsatz.

$$\Delta_{\text{r}}H^\circ = -176.301 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{W\u00e4rme } Q = \Delta_{\text{r}}H^\circ \cdot n^\circ_{\text{NH}_3} = -44.08 \text{ kJ mol}^{-1}$$