

## Anorganische Experimentalchemie

### 11. Übung: Löslichkeiten

1. Formulieren Sie das Löslichkeitsprodukt für:

- a)  $\text{Bi}_2\text{S}_3$
- b)  $\text{PbCrO}_4$
- c)  $\text{Cr}(\text{OH})_3$
- d)  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$

**Lösung:**

- a)  $K_L = [\text{Bi}^{3+}]^2 \cdot [\text{S}^{2-}]^3$
- b)  $K_L = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$
- c)  $K_L = [\text{Cr}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3$
- d)  $K_L = [\text{Ba}^{2+}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]^2$

2. Bei 25 °C lösen sich  $1.7 \cdot 10^{-5}$  mol/L  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt?

**Lösung:**

$$K_L = [\text{Cd}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 \quad \text{oder (!)} \quad K_L = c(\text{Cd}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-)$$
$$c(\text{Cd}^{2+}) = 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$
$$c(\text{OH}^-) = 2 \times 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$
$$K_L = (1.7 \cdot 10^{-5}) \times (2 \times 1.7 \cdot 10^{-5})^2 = 1.97 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

3. Bei 25 °C lösen sich  $5.2 \cdot 10^{-6}$  mol/L  $\text{Ce}(\text{OH})_3$ . Wie groß ist das Löslichkeitsprodukt?

**Lösung:**

$$K_L = [\text{Ce}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3 \quad \text{oder (!)} \quad K_L = c(\text{Ce}^{3+}) \cdot c^3(\text{OH}^-)$$
$$c(\text{Ce}^{3+}) = 5.2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$
$$c(\text{OH}^-) = 3 \times 5.2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$
$$K_L = 5.2 \cdot 10^{-6} \times (3 \times 5.2 \cdot 10^{-6})^3 = 1.97 \cdot 10^{-20} \text{ mol}^4/\text{L}^4$$

4. Berechnen Sie mit Hilfe des Löslichkeitsproduktes jeweils ob

a)  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  oder  $\text{CuCO}_3$

b)  $\text{Ag}_2\text{S}$  oder  $\text{CuS}$

besser löslich ist. Löslichkeitsprodukte:

$\text{Ag}_2\text{CO}_3$   $8.2 \cdot 10^{-12}$ ;  $\text{CuCO}_3$   $2.5 \cdot 10^{-10}$ ;  $\text{Ag}_2\text{S}$   $5.5 \cdot 10^{-51}$ ;  $\text{CuS}$   $8 \cdot 10^{-37}$

**Lösung:**

a)

$$c^2(\text{Ag}^+) \times c(\text{CO}_3^{2-}) = 8.2 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$c^2(2 \text{ CO}_3^{2-}) \times c(\text{CO}_3^{2-}) = 8.2 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$4 c^3(\text{CO}_3^{2-}) = 8.2 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = 3\sqrt{(8.2 \cdot 10^{-12}/4)} = 1.27 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) \times c(\text{CO}_3^{2-}) = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) \times c(\text{Cu}^{2+}) = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c^2(\text{Cu}^{2+}) = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) = \sqrt{(2.5 \cdot 10^{-10})} = 1.58 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

Löslichkeit  $\text{Ag}_2\text{CO}_3 > \text{CuCO}_3$

b)

$$c^2(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{S}^{2-}) = 5.5 \cdot 10^{-51} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$c^2(2 \text{ S}^{2-}) \cdot c(\text{S}^{2-}) = 5.5 \cdot 10^{-51} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$4 c^3(\text{S}^{2-}) = 5.5 \cdot 10^{-51} \text{ mol}^3/\text{L}^3$$

$$c(\text{S}^{2-}) = 3\sqrt{(5.5 \cdot 10^{-51}/4)} = 1.11 \cdot 10^{-17} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c(\text{S}^{2-}) = 8 \cdot 10^{-37} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) \cdot c(\text{Cu}^{2+}) = 8 \cdot 10^{-37} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c^2(\text{Cu}^{2+}) = 8 \cdot 10^{-37} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) = \sqrt{(8 \cdot 10^{-37})} = 8.94 \cdot 10^{-19} \text{ mol/l}$$

Löslichkeit  $\text{Ag}_2\text{S} > \text{CuS}$

5. Wie groß ist die Löslichkeit von Calciumfluorid ( $K_L = 4 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ )

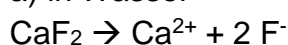
a. in Wasser?

b. in 0.1 M Calciumchlorid-Lösung?

c. in 0.1 M Natriumfluorid-Lösung?

**Lösung:**

a) in Wasser



$$K_L = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{F}^-]^2 = c \cdot (2c)^2 = 4c^3$$

$$\begin{array}{l} 2 [\text{Ca}^{2+}] = [\text{F}^-] \\ c \qquad \qquad 2c \end{array}$$

$$c = \sqrt[3]{\frac{K_L}{4}} = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

b) in 0,1 M CaCl<sub>2</sub> – Lösung

c ist sehr klein im Vergleich zu 0,1 M daher vernachlässigen

$$K_L = ([Ca^{2+}] + 0,1 \text{ M/L}) \cdot [F^-]^2 = 0,1 \text{ mol/L} \cdot (2c)^2$$

$$c = \sqrt[3]{\frac{K_L}{4 \cdot 0,1}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

c) in 0,1 M NaF – Lösung

c ist sehr klein im Vergleich zu 0,1 M daher vernachlässigen

$$K_L = [Ca^{2+}] \cdot [F^-]^2 = c \cdot 0,01 \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$c = K_L / 0,01 \text{ mol}^2/\text{L}^2 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

**6. Das Löslichkeitsprodukt von Pb<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] beträgt 10<sup>-18</sup> mol<sup>3</sup>/L<sup>3</sup>. Wie viel mg Pb<sub>2</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] lösen sich in 1 L Wasser?**

**(M(Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup>) = 211.8 g/mol, M(Pb<sup>2+</sup>) = 207.2 g/mol)**

**Lösung:**



$$[\text{Pb}^{2+}] = 2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$$

$$K_L = [\text{Pb}^{2+}]^2 \cdot [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = (2c)^2 \cdot c$$

$$c = \sqrt[3]{\frac{K_L}{4}} = 6,29 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$M(\text{Pb}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 626,2 \text{ g/mol}$$

$$c = n/V; n = m/M \quad m = n \cdot M = c \cdot V \cdot M$$

$$m = 6,29 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} \cdot 626,2 \text{ g/mol} = 3,94 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

(ca. 0,4mg)

**7. Berechnen sie die Lösungswärme (= Lösungsenthalpie) von NH<sub>4</sub>Cl, wenn sich die Temperatur von 100 mL Wasser beim Auflösen von 20 g NH<sub>4</sub>Cl um 12 °C erniedrigt. Die Wärmekapazität von Wasser beträgt 4.18 J/g\*K. Geben sie außerdem an ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.**

**Lösung:**

$$\text{Lösungsenthalpie: } \Delta H_L = -\frac{\Delta Q}{n}$$

$$\text{Wärmemenge: } \Delta Q = m c \Delta T \quad c = \text{Wärmekapazität}$$

$$m = 100 \text{ g} \quad c(\text{H}_2\text{O}) = 4,18 \text{ J/gK} \quad \Delta T = -12\text{K} \rightarrow \text{Wasser gibt Energie ab}$$

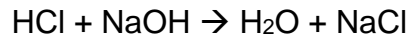
$$\Delta Q = m c \Delta T = 100\text{g} \cdot 4,18 \text{ J/gK} \cdot (-12\text{K}) = -5016 \text{ J}$$

$$n_{\text{NH}_4\text{Cl}} = m/M = 20 \text{ g} / 53,49 \text{ g/mol} = 0,37 \text{ mol}$$

$$\Delta H_L = -\frac{\Delta Q}{n} = -5016 \text{ J} / 0,37 \text{ mol} = 13,5 \text{ kJ/mol}$$

8. Wenn 100 mL 2 M HCl mit 100 mL 2 M NaOH neutralisiert werden, steigt die Temperatur der Lösung um 12 °C an. Berechnen sie die Neutralisationswärme in kJ/mol. Die Wärmekapazität von Wasser beträgt 4.18 J/g\*K.

**Lösung:**



$$\Delta Q = m c \Delta T = 200\text{g} \cdot 4,18 \text{ J/gK} \cdot 12\text{K} = 10,08 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_L = -\frac{\Delta Q}{n} \quad c = n/V \quad n_{\text{Ges}} = n_{(\text{NaOH})} + n_{(\text{HCl})} = 2 \cdot c \cdot V = 2 \cdot 2 \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,4$$

$$\text{mol } \Delta H_L = -25,08 \text{ kJ/mol}$$