

In der online-Version dieses Arbeitsblattes gibt es u.U. noch Bonusaufgaben. Immer auch Nummerierung und genaue Aufgabenstellung prüfen. Manchmal gibt es kleine Abweichungen zwischen der im Unterricht ausgeteilten Version und dem Dokument im Internet!

- Berechnen Sie die maximale Löslichkeit in reinen Lösungen (d.h. nur dieses Salz in Wasser anwesend) von
 - Bismut(III)-sulfid
 - Aluminiumhydroxid
- Wikipedia gibt die maximale Löslichkeit von Blei(II)-chlorid mit $\beta(\text{PbCl}_2) = 4,42 \text{ g/L}$ an. Wie hoch ist demnach das Löslichkeitsprodukt? Vgl. mit dem Wert in Ihrem Tabellenbuch.
- Ist mit der Ausfällung eines Niederschlags zu rechnen, wenn zu 500 mL einer Na_2SO_4 -Lösung, $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,005 \text{ mol/L}$, 250 mL einer CaCl_2 -Lsg mit $c(\text{CaCl}_2) = 0,001 \text{ mol/L}$ gegeben werden? $K_L(\text{CaSO}_4) = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$?
- Zu 100 mL einer 0,1-molaren Calciumchloridlösung wird....
 -1 g Silberchlorid....
 -0,5 g Silberchlorid... und
 -0,1 g Silberchlorid.....gegeben. Wie hoch ist jeweils die Silberkonzentration $c(\text{Ag}^+)$, in der gesättigten Lösung?
- 10 mL einer gesättigten PbCl_2 -Lösung werden mit 10 mL einer Kaliumiodidlösung mit $c = 2 \text{ mol/L}$ versetzt. Hinweis: $K_L(\text{PbCl}_2) = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3$, $K_L(\text{PbI}_2) = 8,5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
 - Zeigen Sie rechnerisch, dass es sofort zur Ausfällung von PbI_2 kommen muss.
 - Wie viel Pb^{2+} verbleibt in der Lösung, wenn man annimmt, dass die Iodidkonzentration konstant $c = 1 \text{ mol/L}$ beträgt? Warum ist diese Annahme gerechtfertigt?
- In welchem Volumen gesättigter Calciumhydroxid-Lösung, finden sich ungefähr 100 mg gelöstes Calciumhydroxid? Hinweis: $\text{p}K_L(\text{Calciumhydroxid}) = 4,155$
 - Mit welchem Volumen Wasser müssen 100 mL der gesättigten Lösung aus a) verdünnt werden, damit der pH-Wert $\text{pH} = 8,5$ beträgt?
- Ein Bleisulfat-Niederschlag wird einmal mit 100 mL Wasser gewaschen und einmal mit 100 mL 0,1-molarer Schwefelsäure. Hinweis: $K_L(\text{PbSO}_4) = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol}^2/\text{L}^2$
 - Welche Masse an Bleisulfat geht in beiden Fällen jeweils verloren? Hinweis: Die SO_4^{2-} -Konz. kann als konstant angenommen werden. Weitere Annahme: Die Waschflüssigkeit wird erst nach GG-Einstellung entfernt.
 - Wie kann man die Ergebnisse mit dem Prinzip des kleinsten Zwangs deuten?
- Eine Manganchlorid-Lösung besitzt $c(\text{MnCl}_2) = 0,005 \text{ mol/L}$. Ab welchem pH-Wert kommt es in einer solchen Lösung pH-Wert zur Bildung eines Niederschlages?
- Fassen Sie mithilfe der Löslichkeitsprodukt-Tabelle und des PSEs tendenziell zusammen, welche Metallhydroxide wasserlöslich und welche Metallhydroxide wasserunlöslich sind.
 - In welchen Lösungsmitteln lassen sich schwerlösliche Metallhydroxide lösen? Begründen Sie mithilfe von Reaktionsgleichungen anhand von Beispielen Ihrer Wahl.
- Welches Volumen an Wasser darf maximal benutzt werden, damit von einem Calciumsulfat-Nd. maximal 150 mg in Lösung gehen. $K_L(\text{CaSO}_4) = 6,1 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2$?

- 11.** Die maximale Löslichkeit von $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ beträgt nach einem Tabellenbuch $6,12 \cdot 10^{-4} \text{ mol/kg}$ [sic] Lösung. Berechnen Sie die Löslichkeit der kristallwasserhaltigen Verbindung in g/100 g H_2O und das ungefähre Löslichkeitsprodukt von $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$. Vergleichen Sie mit Einträgen in Ihrem Tabellenbuch.
- 12.** Was ist mit einer „*übersättigten Lösung*“ gemeint. Nennen Sie 2 Möglichkeiten die Kristallisation in einer solchen Lösung zu initiieren. (*in Anlehnung an Prüfungsfrage aus der Abschlussprüfung Teil 1, Jahr 2011*).
- 13.** Eine Lösung enthält $0,2 \text{ mol/L Cl}^-$ und $0,1 \text{ mol/L CrO}_4^{2-}$. Zu der Lösung wird langsam eine AgNO_3 -Lösung getropft und gemischt. Welche Verbindung fällt zuerst aus? Hinweis: $\text{pK}_L(\text{AgCl}) = 9,8$; $\text{pK}_L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 11,4$

Es existiert für die C2CL auch ein Arbeitsblatt zu Fällungstitrationsen – einer Anwendung von Löslichkeitsprodukten.

Musterlösungen unter www.laborberufe.de

Tipps zum Lösen

Bevor Sie die Musterlösung anschauen, sollten Sie erst mal versuchen die Aufgabe alleine zu lösen. Wenn Sie es alleine nicht schaffen, dann werfen Sie zuerst einen Blick auf die Tipps auf dieser Seite. Erst wenn das auch nichts nützt, sollten Sie die Musterlösung konsultieren. Beachten Sie: In der Klassenarbeit gibt es keinen Tipgeber! Deshalb nur dann die Tipps nutzen, wenn Sie wirklich lange erfolglos versucht haben die Aufgabe zu lösen.

Zu 2: Denken Sie an die Definition des K_L -Wertes und schreiben Sie die Formel für dieses konkrete Beispiel auf. Vergessen Sie auch nicht etwaige Hochzahlen! Berechnen Sie die erforderlichen Größen (Stoffmengenkonzentrationen der gesättigten Lösung) anhand der Angabe 4,42 g/L und molarer/n Masse(n).

Zu 3: Berechnen Sie das rechnerische Löslichkeitsprodukt.

- Ist es größer als der tabellierte K_L -Wert? Was heißt das für eine solche Lösung?
- Ist es gerade gleich groß wie der tabellierte K_L -Wert? \Rightarrow Herzlichen Glückwunsch! Die Lösung wäre gerade gesättigt!
- Ist es kleiner als der tabellierte K_L -Wert? Was heißt das für eine solche Lösung?

Zu 4: Das ist eine einfache Rechnung mit dem Löslichkeitsprodukt. Die Chloridkonzentration kann in allen drei Fällen mit 0,1 mol/L angenommen werden. Zwar löst sich eine winzige Stoffmenge des hinzugegeben AgCl, es ist aber eine schwerlösliche Verbindung. So ist die gelöste Stoffmenge so gering, dass sich die Cl^- -Konzentration von 0,1 mol/L durch die hinzukommenden Cl^- -Ionen nur unwesentlich ändert. (z.B. Erhöhung auf 0,100004 mol/L.)

Da man die Cl^- -Konzentration als konstant und unabhängig von der zugegebenen AgCl-Masse annehmen kann, ist auch die Ag^+ -Konzentration als konstant anzusehen.

Zu 5a) Vgl. Tipp zu Aufgabe 3

Zu 5b) vgl. Tipp zu Aufgabe 4

Zu 6) Das ist eine einfache Rechnung mit dem Löslichkeitsprodukt. Rechnen Sie zuerst die Stoffmengenkonzentration von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in einer gesättigten Lösung aus (mithilfe des angegebenen $\text{p}K_L$ -Wertes, der natürlich zuerst in einen K_L -Wert umgerechnet werden muss). Dann müssten Sie mit $c = n/V$ und $m = n \cdot M$ o.ä. berechnet bekommen, in welchem Volumen einer solchen Lösung 100 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ enthalten sind.

Zu 7) PbSO_4 kann sich in der Waschflüssigkeit bis maximal zur Sättigungskonzentration anreichern. Wie hoch die ist, können Sie mit dem K_L -Wert berechnen (siehe z.B. Aufgabe Nr. 1). Wie viel PbSO_4 in 100 mL einer solchen Lösung enthalten ist, können Sie anschließend mit $c = n/V$ und $m = n \cdot M$ o.ä. berechnen.

Bei der Schwefelsäure, können Sie analog rechnen. Nur gehen Sie hier von einer konstanten SO_4^{2-} -Konzentration aus. Wie z.B. bei Aufgabe Nr. 4

Zu 8) Zuerst müssen Sie überlegen, welche Verbindung ausfallen könnte. Es ist nicht MnCl_2 , das ist nämlich relativ leicht löslich. Trotzdem fallen aus den aller meisten Lösungen mit Metallionen, ab einem bestimmten pH-Wert Niederschläge aus.

Sie müssen berechnen, wie hoch die Gegenionenkonzentration (Gegenion zu Mn^{2+}) sein muss, bis der K_L -Wert gerade erreicht ist. Mit den pH, pOH-Definitionen kommen Sie dann weiter auf den pH-Wert.

Zu 9a) Das haben wir im Unterricht häufig besprochen und mit „Merke“-Sätze notiert.

9b) Man kann die Hydroxide „*chemisch*“ lösen (d.h. es kommt zu einer chemischen Reaktion mit Inhaltsstoffen des Lösungsmittels ⇒ Tipp: Protolyse.)

Wenn Sie an die Inhalte des ersten Lehrjahres denken, kann man sogar auch ein genau gegenteiliges Lösungsmittel einsetzen. So löst sich z.B. $\text{Al}(\text{OH})_3$ auch durch konzentrierte Natronlauge. Warum? An das erste Lehrjahr denken!

Zu 10) Siehe z.B. Aufgabe Nr. 6

Zu 11) [sic]: siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Sic>

$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ist eine schwerlöslich Verbindung. Da lösen sich höchstens ein paar Milligramm pro Liter Wasser. Sie können also davon ausgehen, dass es praktisch nicht zu Volumeneffekten kommt. 1 Liter Wasser = 1 Liter Lösung = 1 kg Lösung oder mit anderen Worten: $\rho(\text{Lösung}) = \rho(\text{Wasser}) = 1 \text{ kg/L}$. Berechnen Sie den K_L -Wert mithilfe der Sättigungskonzentrationen (*vgl. z.B. Aufgabe 2*). Um die lösliche Masse in 100 g H_2O zu berechnen, müssen Sie das Kristallwasser berücksichtigen.

Zu12) Was mit einer übersättigten Lösung gemeint ist, können Sie auch beim Tipp zu Aufgabe Nr. 3 entnehmen.

Eine solche Lösung ist instabil/metastabil: Wie eine Lawine durch kleine Ereignisse ausgelöst wird, kann auch die Ausfällung mit minimalen Veränderungen initiiert werden und läuft dann eigenständig ab, bis die Lösung nicht mehr übersättigt ist, d.h. bis der rechnerische K_L -Wert gerade dem tabellarischen K_L -Wert entspricht. Solche Veränderungen können sein:

- Eintrag von mechanischer Energie in die Lösung (z.B. Reiben eines Glasstabs an der Wand)
- Eintrag von Staubkörnern .ä. an deren Oberfläche weitere Feststoffe (hier: Kristalle) sich abscheiden können: **Kristallisationskeime**.
- Weiteres Eindampfen der Lösung. Je höher die Übersättigung, desto wahrscheinlicher ist der Beginn der Fällung.

Zu 13) Es gilt der Grundsatz, dass die schwerer lösliche der beiden Verbindungen zuerst ausfällt. Nur wenn die Ionenverhältnisse identisch sind, z.B. beides A_2B -Salze, kann man direkt die K_L -Werte vergleichen und diejenige Verbindung mit dem kleineren K_L -Wert als schwerlöslichere identifizieren. Dies ist hier allerdings nicht der Fall. AgCl ist ein AB -Salz, Ag_2CrO_4 ist ein A_2B -Salz.

Man muss sich also wirklich die Mühe machen und berechnen wie groß die Sättigungskonzentration an Ag^+ in einer 0,2-molaren Cl^- -Lösung ist. Weiterhin muss man die Sättigungskonzentration von Ag^+ in einer 0,1-molaren Chromat-Lösung berechnen. Diejenige Verbindung, bei der dieses $c(\text{Ag}^+)$ kleiner ist, fällt als erstes aus.

Lösungen – ohne Gewähr

- * Die Antworten auf die Fragen gehen aus didaktischen Gründen häufig über die verlangte Antwort etwas hinaus. Manche sind dagegen auch nur stichwortartig beantwortet.
- * Machen Sie mich bitte formlos per E-Mail auf Fehler aufmerksam.
- * Die Nummerierung und die Aufgabentexte mit dem im Unterricht ausgeteilten Arbeitsblättern abgleichen: Manchmal gibt es Abweichungen! Häufig gibt es auch Bonusaufgaben am Ende des Dokuments! Evtl. kommen Abweichungen auch aufgrund unterschiedlicher Tabellenwerte zustande.

Nr. 1a



z.B.: 2x 3x

$$1,6 \cdot 10^{-72} = (2x)^2 \cdot (3x)^3 \Rightarrow$$

$$1,6 \cdot 10^{-72} = 4x^2 \cdot 27x^3 \Rightarrow$$

$$1,6 \cdot 10^{-72} = 108 \cdot x^5 \Rightarrow x \approx 1,7145 \cdot 10^{-15}$$

$$c(\text{Bi}^{3+}) = c(\text{Bi}_2\text{S}_3) = 2x = 2 \cdot 1,7145 \cdot 10^{-15} \text{ mol/L} \approx 3,429 \cdot 10^{-15} \text{ mol/L};$$

$$c(\text{S}^{2-}) = 3x \approx 5,144 \cdot 10^{-15} \text{ mol/L}$$

Nr. 1b



x 3x

$$2,0 \cdot 10^{-33} = x \cdot (3x)^3 \Rightarrow$$

$$2,0 \cdot 10^{-33} = 27x^4 \Rightarrow x \approx \sqrt[4]{\frac{2,0 \cdot 10^{-33}}{27}} \Rightarrow x \approx 2,9337 \cdot 10^{-9}$$

$$c(\text{Al}^{3+}) = c(\text{Al(OH)}_3) = x \approx 2,9337 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{OH}^-) \approx 8,8011 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

Nr. 2

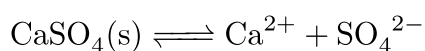
$$c(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) = \frac{4,42 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{278,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,015894 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Cl}^-) \approx 2 \cdot 0,015894 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 0,031787 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$K_L = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-) \approx 0,015894 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot (0,031787 \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2 \approx 1,606 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}$$

Der K_L -Wert aus Ihrem Tabellenbuch weicht mit $2,12 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ leicht ab, das ist gerade bei Löslichkeitsprodukten jedoch der Regelfall: Je nach Quelle variiert der Wert relativ stark. Die englische Wikipedia, gibt den Wert mit $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ an, im Zweifelsfall ist dieser Wert vertrauenswürdiger.

Nr. 3



$$K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-})$$

Zu einer Ausfällung kommt es, wenn das Ionenprodukt $c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-})$ größer ist als der angegebene K_L -Wert.

Wegen der Volumenzunahme gelten nach dem Mischen folgende Konzentrationen und folgendes Ionenprodukt:

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = 3,333 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \text{ und } c(\text{Ca}^{2+}) = 3,333 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L. } \bullet c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-}) = 1,111 \cdot 10^{-6} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

Das Ionenprodukt ist also kleiner als der tabellierte K_L -Wert, d.h. es fällt kein CaSO_4 aus, .

Nr. 4

Es ist völlig unerheblich, ob man 1 g, 0,5g, 0,1 g, 1 Löffel oder nur eine Spatelspitze AgCl zur Lösung gibt. In jedem Fall geht nur eine extrem geringe Stoffmenge in Lösung, der Rest fällt einfach als Bodensatz auf den Gefäßboden. In allen diesen Lösungen ist die Chloridkonzentration praktisch konstant $c(\text{Cl}^-) = 0,2 \text{ mol/L}$. Also gilt für alle diese Lösungen:

$$K_L = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = c(\text{Ag}^+) \cdot 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow c(\text{Ag}^+) = 9 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Nr. 5

$$K_L(\text{PbCl}_2) = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$



im GG [mol/L]: x 2x

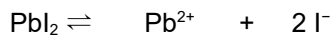
$$K_L = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^-) = x \cdot (2x)^2 = 2x^3 = 2,12 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \Rightarrow x \approx 0,022 \text{ mol/L} = c(\text{Pb}^{2+}) \text{ im GG}$$

Nach Verdoppelung des Volumens vorliegende Konzentrationen: $c(\text{Pb}^{2+}) \approx 0,011 \text{ mol/L}$, $c(\text{I}^-) = 1 \text{ mol/L}$

$c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{I}^-) = 0,011 \text{ mol/L} \cdot (1 \text{ mol/L})^2 \approx 0,011 \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$. Der errechnete Wert ist größer als das tabellierte

Löslichkeitsprodukt $K_L(\text{PbI}_2)$ ($= 8,7 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$). Es fällt so lange PbI_2 aus, bis der tabellierte Wert gerade erreicht ist.

b) Die Annahme ist legitim, da ein großer Überschuss an I^- vorliegt. Bei der Fällung von PbI_2 ist die prozentuale Änderung der Iodidkonzentration viel geringer als die Änderung der Bleikonzentration.



im GG [mol/L] 0,011 - x 1

$$8,7 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3} = (0,011 - x) \cdot 1 (\text{mol/L})^2 \Rightarrow x = 0,010999991 \text{ mol/L}$$

Die Pb^{2+} -Konzentration nimmt fast auf Null ab, die Iodidkonzentration bleibt näherungsweise konstant.

$$c(\text{Pb}^{2+}) \text{ nach } \text{PbI}_2\text{-Fällung: } c(\text{Pb}^{2+}) = 0,011 - x = 8,7 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

Nr. 6a)

$$K_L = 10^{-\text{p}K_L} = 10^{-4,155} \approx 6,998 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}$$



im GG [mol/L]

x 2x

Kommentar: Wenn sich x mol/L Ca^{2+} in der Lösung befinden, dann ist wegen des Koeffizientenverhältnisses die doppelte Konzentration, also 2x OH^- in der Lsg.

Löslichkeitsprodukt: $K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) \Rightarrow 6,998 \cdot 10^{-5} (\text{mol/L})^3 = x \cdot (2x)^2 = 2x^3 \Rightarrow x = 0,0327 \text{ mol/L}$

In der gesättigten Lösung befinden sich $x = c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{Ca(OH)}_2) = 0,0327 \text{ mol/L}$

$$\beta(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot M(\text{Ca}^{2+}) = 0,0327 \text{ mol/L} \cdot 40,08 \text{ g/mol} \approx 1,3109 \text{ g/L}$$

Wenn pro Liter ca. 1,31 g Ca^{2+} gelöst sind, dann sind 0,1 Gramm Ca^{2+} in ca. 76 mL der Lösung enthalten.

b) Die Konzentration an Hydroxidionen ist doppelt so hoch, wie die der Ca^{2+} -Ionen (wegen Koeffizientenverhältnis):

$$c(\text{OH}^-) = 2 \cdot 0,0327 \text{ mol/L} = 0,0654 \text{ mol/L}$$

Die Lösung soll nun so verdünnt werden, dass der pH = 8,5, d.h. pOH = 5,5 bzw.

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-\text{pOH}} = 3,1623 \cdot 10^{-6} \text{ mol/ beträgt}$$

Es handelt sich also um eine Verdünnungsaufgabe. Man wird wohl ziemlich viel Wasser dazugeben müssen, weil die Konzentration nach dem Verdünnen sehr viel kleiner ist!

Man kann das Volumen mit der Verdünnungsformel (Mischungsgleichung für das Verdünnen mit Wasser) lösen.

siehe Unterlagen des 1. Lehrjahres und/oder Formelblatt aus dem 1. Lehrjahr.

Antwort: Man muss rechnerisch mit ca. 2068 Liter Wasser verdünnen, also mit ca. $2,07 \text{ m}^3$.

Wasser als Waschflüssigkeit

Leitfrage: Wie hoch ist die PbSO₄-Konz. und die PbSO₄-Masse in 100 mL gesättigter Bleisulfatlösung.



im GG [mol/L]: x x

$$K_L = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} = x \cdot x \Rightarrow x = 1,2247 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$x = c(\text{Pb}^{2+}) = c(\text{SO}_4^{2-}) \quad c(\text{PbSO}_4) = 1,2247 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{In 100 mL: } n(\text{PbSO}_4) = 1,2247 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \Rightarrow m(\text{PbSO}_4) = n(\text{PbSO}_4) \cdot 303,3 \text{ g/mol} \approx 0,00371 \text{ g} \approx 3,71 \text{ mg}$$

Lösungsmöglichkeit 1: H₂SO₄ als Waschflüssigkeit

Leitfrage: Wie viel Pb²⁺ fällt aus, wenn man die Sulfatkonzentration auf 0,1 mol/L erhöht?



in Wasser [mol/L] 1,2247 · 10⁻⁴ 1,2247 · 10⁻⁴

nach SO₄-Zugabe (im GG) 1,2247 · 10⁻⁴ - x 0,1

$$K_L = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} = (1,2247 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} - x) \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow x = 1,2232 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Pb}^{2+}) = c(\text{PbSO}_4) \text{ nach SO}_4^{2-}\text{-Zugabe: } 1,2247 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} - 1,2232 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \approx 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$\text{In 100 mL: } n(\text{PbSO}_4) = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \Rightarrow m(\text{PbSO}_4) = n(\text{PbSO}_4) \cdot 303,3 \text{ g/mol} \approx 4,55 \cdot 10^{-6} \text{ g} \approx 4,55 \mu\text{g}$$

Lösungsmöglichkeit 2

Leitfrage: Wie hoch ist die PbSO₄-Konz. und die PbSO₄-Masse in 100 mL H₂SO₄ mit c(SO₄²⁻) = 0,1 mol/L



im GG [mol/L]: x 0,1

$$K_L = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} = x \cdot 0,1 \Rightarrow x = 1,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{In 100 mL: } n(\text{PbSO}_4) = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \Rightarrow m(\text{PbSO}_4) = n(\text{PbSO}_4) \cdot 303,3 \text{ g/mol} \approx 4,55 \cdot 10^{-6} \text{ g} \approx 4,55 \mu\text{g}$$



Erhöht man die Sulfatkonzentration in der Lösung, so fällt weiteres PbSO₄ aus (Prinzip des kleinsten Zwangs)

Die Frage ist, wie hoch c(OH)⁻ gerade ist, damit der K_L-Wert gerade erreicht ist.



im GG [mol/l]: 0,005 x

Kommentar: Die Hydroxidkonzentration ist nicht bekannt und wird mit x angenommen. Es macht keinen Sinn, für diese unbekannt Konzentration „2x“ zu formulieren. Eine solche Formulierung macht nur Sinn, wenn man reines Mn(OH)₂ in Wasser gelöst hätte, und deshalb annehmen könnte, dass die Hydroxidkonzentration **doppelt** so groß wie die Mn²⁺-Konzentration ist. also: c(Mn²⁺) = x und deshalb c(OH⁻) = 2x. Das ist aber bei dieser Aufgabe nicht der Fall! Es wurde nicht Mn(OH)₂ in Wasser gelöst. Statt dessen wurde eine MnCl₂-Lösung hergestellt. Nun gibt man so lange OH⁻ hinzu, bis die Lösung gerade gesättigt ist. Wie groß die OH-Konzentration ist, ist noch nicht bekannt. Wir simulieren sie mit x.

$$K_L = c(\text{Mn}^{2+}) \cdot x^2 \Rightarrow$$

$$K_L = 4 \cdot 10^{-14} \text{ mol}^3 \text{L}^{-3} = 0,005 \text{ mol/L} \cdot x^2 \Rightarrow x \approx 2,828 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} = c(\text{OH}^-)$$

$$\Rightarrow \text{pOH} = -\lg c(\text{OH}^-) \approx 5,55 \Rightarrow \text{pH} \approx 8,45$$

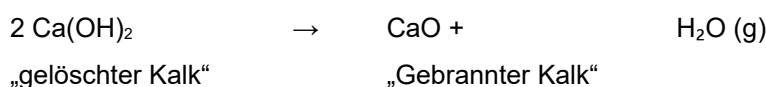
Kommentar: Sie können erkennen, dass die Hydroxidkonzentration mit $c(\text{OH}^-) = 2,828 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$ NICHT doppelt so groß wie ist, wie die Mangankonzentration mit $c(\text{Mn}^{2+}) = 0,005 \text{ mol/L}$ ist. [siehe auch Kommentar oben]. Hätte man reines $\text{Mn}(\text{OH})_2$ in Wasser gelöst, wäre $c(\text{OH}^-)$ doppelt so groß wie $c(\text{Mn}^{2+})$.

Nr. 9

a) **Prägen Sie sich als angehende(r) Chemielaborant(in) ein, denn andere verlassen sich darauf, das gerade Sie sich in der Stoffchemie gut auskennen: Nur Alkalimetallhydroxide sind leicht löslich, z.B. NaOH, KOH etc. Die meisten anderen Hydroxide (z.B. Erdalkalimetallhydroxide, Nebengruppenmetallhydroxide etc.) sind schwerlöslich. z.B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mn}(\text{OH})_2$**

Ergänzender Hinweis für die, die mehr wissen wollen: Manche Hydroxide neigen beim Ausfallen zur spontanen Wasserabspaltung. z.B. $2 \text{AgOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$. Macht man eine Silbernitratlösung alkalisch, so fällt also nicht weißes Silberhydroxid aus, sondern das daraus durch Wasserabspaltung hervorgehende braune Silberoxid. Bei anderen Metallhydroxiden erfolgt eine solche Wasserabspaltung nicht spontan, sondern erst durch Erhitzen.

Prominentes Beispiel:



b) In Säuren lösen sich Metallhydroxide unter Protolyse auf! Reaktionsgleichungen bekommen Sie hoffentlich selbst hin.

Nr. 10

Die Sättigungskonzentration $c(\text{CaSO}_4)$ beträgt

$$K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{SO}_4^{2-}) = x \cdot x = x^2$$

$$x = (6,1 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2/\text{L}^2)^{0,5} = 0,00781024967 \text{ mol/L}$$

Die Fragestellung mit etwas anderen Worten lautet: In welchem Volumen lösen sich 0,15 g CaSO_4 ? Das sind 0,00110179077 mol.

$$V(\text{Lsg}) = n(\text{CaSO}_4) : c(\text{CaSO}_4) = 0,00110179077 \text{ mol} : 0,00781024967 \text{ mol/L} \approx \underline{\underline{0,14 \text{ L}}} \text{ (also in ungefähr 140 mL)}$$

Nr. 12

Eine Lösung ist übersättigt, wenn das Ionenprodukt (rechnerische Löslichkeitsprodukt) größer als der (tabellierte) K_L -Wert ist. Ein Ausfällen tritt ein, wenn ein Impfkristall in die Lösung gegeben wird oder mit einem Glasstab an den Wandungen gerieben wird oder Lösungsmittel verdunstet o.ä.

siehe auch <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cbers%C3%A4ttigung>

- Zugabe von Impfkristallen oder sonstigen Partikeln (z.B. Staubkorn): An solchen Festkörpern (insbesondere an scharfen Kanten) ist die Abscheidung von Ionen als Salz erleichtert möglich.
- Reiben mit Glasstab an der Glaswand.
- Weiteres Aufkonzentrieren, z.B. durch Verunsten von Lösungsmittel, wodurch der Grad der Übersättigung steigt.
- Abkühlen der Lösung, wodurch die Löslichkeit der meisten Salze weiter sinkt und der Grad der Übersättigung also steigt.

Nr. 13

Es wird jeweils die Ag^+ -Konzentration berechnet, ab der die Lösung an AgCl und an AgCr_2O_4 gesättigt ist.

$$K_L(\text{AgCl}) = 10^{-\text{p}K_L} \approx 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$$

$$K_L = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$$

$$K_L(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 10^{-\text{p}K_L} \approx 4,0 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^3 \cdot \text{L}^{-3}$$

$$K_L = c^2(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-})$$

$$c(\text{Ag}^+) = \frac{K_L}{c(\text{Cl}^-)} \approx \frac{1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}}{0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Ag}^+) = \sqrt{\frac{K_L}{c(\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-})}} \approx \sqrt{\frac{4,0 \cdot 10^{-12} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}}{0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}} \approx 6,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Obwohl Ag_2CrO_4 das kleinere Löslichkeitsprodukt hat, fällt zuerst AgCl aus, denn schon ab $c(\text{Ag}^+) \approx 8 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$ ist die Lösung an dieser Verbindung übersättigt. Erst bei ca. 10000 mal höheren Konzentrationen an Ag^+ ist die Lösung dann an Ag_2CrO_4 übersättigt. Gibt man das Ag^+ langsam hinzu und mischt gut, so fällt solange kein Ag_2CrO_4 , bis praktisch die letzte Stoffmenge an Cl^- ausgefällt wurde. Man kann diese beiden Ionensorten durch eine *fraktionierende Fällung* voneinander trennen.