

Rechnen mit dem Massenwirkungsgesetz

Allgemeine Aufgaben zum MWG

1. Die Gleichgewichtskonzentrationen der Gleichgewichtsreaktion $2A + 3B \rightleftharpoons 2C + D$ betragen bei bestimmten Reaktionsbedingungen: $c(A) = 0,31 \text{ mol/L}$; $c(B) = 2,18 \text{ mol/L}$; $c(C) = 0,72 \text{ mol/L}$; $c(D) = 1,83 \text{ mol/L}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K .
2. Zu Beginn der Synthese von Iodwasserstoff aus den Elementen lagen die Konzentration $c(\text{H}_2) = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ $c(\text{I}_2) = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ vor. Im Zustand des chemischen Gleichgewichts wurden $c(\text{I}_2) = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ gemessen. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K_c .
3. Für die Reaktion von Stickstoff und Sauerstoff zu Stickstoffmonoxid gilt die Gleichgewichtskonstante $K_c = 3 \cdot 10^{-3}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonzentrationen aller beteiligten Stoffe, wenn zu Beginn der Reaktion in ein 2 L-Reaktionsgefäß 1 mol Stickstoff und 1,5 mol Sauerstoff eingeleitet werden.

Konkretisierung des Massenwirkungsgesetz 1: Löslichkeitsgleichgewichte

4. Berechnen Sie die Löslichkeit von Lithiumcarbonat in Wasser in mol/L und in g/L . $pK_L(\text{Lithiumcarbonat}) = 3,1$.
Elementsymbol Lithium: Li
5. (*) *Lehrreich. Zur Lösung einer ganzrationalen Funktion 3. Grades ist ein Computeralgebra-System erforderlich.* In 500 mL einer gesättigten Calciumfluoridlösung werden 4,1988 g Natriumfluorid gelöst.
 - a) Berechnen Sie Stoffmengenkonzentrationen an Calciumionen und an Fluoridionen in mol/L in der gesättigten Lösung (vor Zugabe von Natriumfluorid). $K_L(\text{Calciumfluorid}) = 3,4 \cdot 10^{-11} \text{ mol}^3/\text{L}^3$
 - b) Beschreiben und erklären Sie die bei der Zugabe von Natriumfluorid stattfindende chemische Reaktion.
 - c) *schwierig aber lehrreich. Zur Lösung einer ganzrationalen Funktion 3. Grades ist ein Computeralgebra-System oder ein neuerer wissenschaftlicher Taschenrechner erforderlich, der solche Gleichungen lösen kann.* Berechnen Sie den Calciumionen-Gehalt im neuen Gleichgewichtszustand.
6. In 100 L gesättigter Silbercarbonat-Lösung (Ag_2CO_3) befinden sich 0,0126992 mol Carbonationen. Berechnen Sie K_L und pK_L von Silbercarbonat.

Konkretisierung des Massenwirkungsgesetz 2: Autoprotolysen

7. Reine Salpetersäure kann in einer Autoprotolyse zu H_2NO_3^+ und NO_3^- reagieren. Berechnen Sie die Konzentration an Nitrat-Ionen, wenn für diese Reaktion $pK = 2,90$ gilt.
8. Eine wässrige Lösung besitzt $\text{pH} = 2,89$. Berechnen Sie $c(\text{H}_3\text{O}^+)$, $c(\text{OH}^-)$ und den pOH -Wert der Lösung.

Musterlösungen auf www.laborberufe.de

Lösungen ohne Gewähr

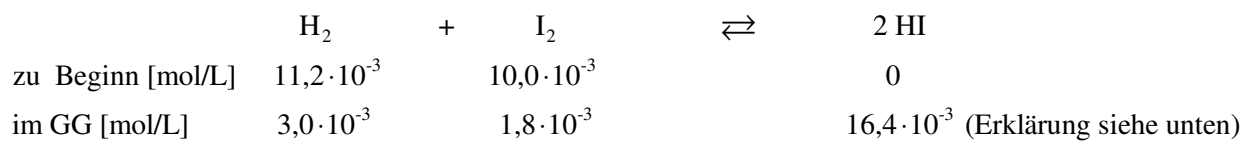
Wenn Sie von diesen Musterlösungen profitieren, dann geben Sie etwas zurück, indem Sie mich auf Rechenfehler, Verständnisschwierigkeiten o.ä. aufmerksam machen. Letztendlich profitieren auch andere Schüler davon, wenn die Musterlösungen weitgehend fehlerfrei und verständlich sind.

Nr. 1

$$K_c = \frac{c^2(C) \cdot c(D)}{c^2(A) \cdot c^3(B)} = \frac{\left(0,72 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(1,83 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)}{\left(0,31 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot \left(2,18 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^3} \approx 0,95285$$

Nr. 2

Das MWG gilt nur für Konzentrationen im Gleichgewicht (GG). So dürfen nicht einfach die angegebenen Anfangskonzentrationen eingesetzt werden!



Koeffizientenverhältnis: **1** + **1** **2**

Aus dem Koeffizientenverhältnis geht hervor, dass sich doppelt so viel HI bildet, wie I_2 verbraucht werden (**1 : 2**). Wenn z.B. 1 mol I_2 verbraucht wird, dann bilden sich 2 mol HI. Wenn $16,4 \cdot 10^{-3}$ mol/L HI gebildet wurden, dann muss also halb so viel I_2 verbraucht worden sein: $8,2 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Auch der Verbrauch an H_2 beträgt $8,2 \cdot 10^{-3}$ mol/L, da auch hier das Koeffizientenverhältnis (**1 : 2**) beträgt. .

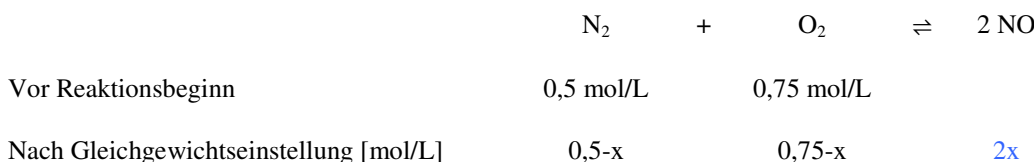
Konzentrationen im GG = Anfangskonzentration – Verbrauch

$$c(\text{I}_2)_{\text{GG}} = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} - 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{H}_2)_{\text{GG}} = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} - 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$K_c = \frac{c^2(\text{HI})}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)} = \frac{\left(16,4 \cdot 10^{-3}\right)^2 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}}{3,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 49,81 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Nr. 3



$$\text{MWG} \quad 3 \cdot 10^{-3} = \frac{(2x)^2}{(0,5-x)(0,75-x)} \Rightarrow 3 \cdot 10^{-3} = \frac{4x^2}{x^2 - 1,25x + 0,375} \Rightarrow$$

$$-3,997x^2 - 0,00375x + 0,001125 = 0$$

Lösung der quadratischen Gleichung:

$$x_{1,2} = \frac{0,00375 \pm \sqrt{1,40625 \cdot 10^{-5} + 0,0179865}}{-7,994}$$

$$x_1 \approx -0,01725 \quad x_2 \approx 0,01631$$

$$c(\text{NO}) = 2 \cdot x \Rightarrow c(\text{NO}) \approx 0,0326 \text{ mol/L}$$

$$c(\text{N}_2) = 0,5 - x \Rightarrow c(\text{N}_2) \approx 0,4837 \text{ mol/L}$$

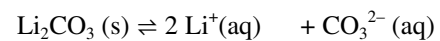
$$c(\text{O}_2) = 0,75 - x \Rightarrow c(\text{O}_2) \approx 0,7337 \text{ mol/L}$$

Nr. 4

Lithiumcarbonat: Li_2CO_3 , das Ionenverhältnis $\text{Li}^+ : \text{CO}_3^{2-}$ ist also 2:1, damit eine Formeleinheit nach außen hin elektrisch neutral ist. Die einfach positiv Ladung von Li^+ lässt sich aus dem PSE herleiten, da Li ein Element der 1. Hauptgruppe ist. Diese einfache Regel gilt natürlich nur für atomare Ionen und nicht für zusammengesetzte, z.B. CO_3^{2-} !

$$K_L(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 10^{-pK_L(\text{Li}_2\text{CO}_3)} \Rightarrow K_L(\text{Li}_2\text{CO}_3) \approx 0,00079433 \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}$$

Beim Lösen gehen die Ionen einzeln in Lösung und umgeben sich mit einer Hydrathülle:



Die Li^+ -Konzentration ist doppelt so hoch wie die CO_3^{2-} -Konzentration:

$$2x \quad x$$

Löslichkeitsprodukt: $K_L = c^2(\text{Li}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})$

Löslichkeitsprodukt (mit x formuliert): $K_L = (2x)^2 \cdot x = 4x^3$

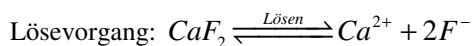
Einsetzen des K_L -Werts und Auflösen nach x: $0,00079433 \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3} = 4x^3 \Rightarrow x \approx 0,05834 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

$$c(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,05834 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Mit $M(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 73,891 \text{ g/mol}$ folgt: $1 \text{ mol} \triangleq 73,891 \text{ g} \Rightarrow \beta(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,05834 \frac{73,891 \text{ g}}{\text{L}} \approx 4,311 \frac{\text{g}}{\text{L}}$

Nr. 5

Calciumfluorid besteht aus Ca^{2+} (da 2. Hauptgruppe!) und F^- -Ionen. Wegen dem Ladungsausgleich gilt: CaF_2

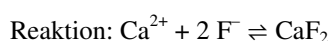


a) Da die Aufgabe weitgehend analog zur vorangegangenen ist, wird hier der Lösungsweg etwas knapper formuliert.

$$K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-) \Rightarrow 3,4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3} = x \cdot (2x)^2 \Rightarrow x \approx 0,00020408275 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\Rightarrow c(\text{Ca}^{2+}) = 0,00020408 \text{ mol/L} \quad \Rightarrow c(\text{F}^-) = 2 \cdot 0,00020408275 \text{ mol/L} \approx 0,00040816551 \text{ mol/L}$$

b) Gibt man zu der gesättigten Calciumfluorid-Lösung weitere F^- -Ionen dazu (z.B. NaF-Zugabe), so fällt CaF_2 aus, weil das Löslichkeitsprodukt überschritten wird. Es fällt so lange CaF_2 aus, bis der K_L -Wert gerade wieder erreicht wird. Für jedes ausfallende Ca^{2+} -Ion fallen 2 F^- -Ionen aus (wegen Koeffizientenverhältnis 1:2).

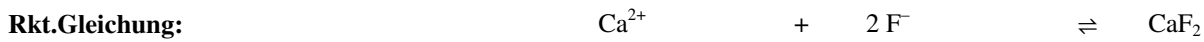


c) schwierig aber lehrreich

4,1988 g NaF entsprechen 0,1 mol NaF (da $M(\text{NaF}) \approx 41,988 \text{ g/mol}$). Diese Portion enthält 0,1 mol F^- -Ionen. Diese Stoffmenge befinden sich laut Aufgabenstellung in 0,5 L Lösung.

Mit $c = n/V$ folgt: $c_{\text{hinzu kommend}}(\text{F}^-) = 0,1 \text{ mol} / 0,5 \text{ L} = 0,2 \text{ mol/L}$.

Die F^- -Konzentration wird durch die NaF-Zugabe um 0,2 mol/L erhöht.



gesättigte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lsg. [mol/L] 0,00020408275 0,00040816551

nach NaOH-Zugabe (vor Fällung) [mol/L] 0,00020408275 0,00040816551+
0,2 =
0,20040816551

nach Neueinstellung des Gleichgewichts 0,00020408275 0,20040816551- für jedes Ca^{2+} fallen 2
-x 2x F^- -Ionen aus: Wenn
 $c(\text{Ca}^{2+})$ um x abnimmt,
so nimmt $c(\text{F}^-)$ um 2x
ab!

Löslichkeitsprodukt für das neue Gleichgewicht:

$$K_L = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c^2(\text{F}^-) \Rightarrow 3,4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3} = (0,00020408275 - x) \cdot (0,20040816551 - 2x)^2$$

Diese Gleichung 3. Grades kann durch ein Computer-Algebrasystem oder einen Taschenrechner (etwa mithilfe des NEWTON-Näherungsverfahrens) gelöst werden.

Löst man mithilfe der binomischen Formel den letzten Klammerausdruck und fasst zusammen, so kommt man zu folgender

$$\text{Normalform: } 0 = -4 \cdot x^3 + 0,80244899304 \cdot x^2 - 0,040327032201242 \cdot x + 8,1966298158935002 \cdot 10^{-6}$$

Einzigste reelle Nullstelle dieser Funktion mit einem Computeralgebrasystem ist $x = 2,0408220133 \cdot 10^{-4} \approx 0,0002040822$. Dieses Ergebnis kann auch mit den meisten neueren wissenschaftlichen Taschenrechnern ermittelt werden.

$$\Rightarrow c(\text{Ca}^{2+}) = 0,00020408275 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - x \Rightarrow c(\text{Ca}^{2+}) = 0,00020408275 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 0,0002040822 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 5,5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Die ohnehin schon niedrige Ca^{2+} -Konzentration sinkt nach Zugabe von NaF auf nahezu 0 mol/L.

$$\Rightarrow c(\text{F}^-) = 0,20040816551 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 2x \Rightarrow c(\text{OH}^-) = 0,20040816551 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 2 \cdot 0,0002040822 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 0,20000 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Nr. 6

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{n(\text{CO}_3^{2-})}{V(\text{Lsg.})} = \frac{0,0126992 \text{ mol}}{100\text{L}} = 1,26992 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

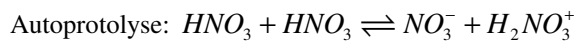
Wegen der Verhältnisformel des Salzes gilt:

$$c(\text{Ag}^+) : c(\text{CO}_3^{2-}) = 2 : 1. \Rightarrow c(\text{Ag}^+) = 2 \cdot 1,26992 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} = 2,53984 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{Löslichkeitsprodukt: } K_L = c^2(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) = \left(2,53984 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2 \cdot 1,26992 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 8,19 \cdot 10^{-12} \frac{\text{mol}^3}{\text{L}^3}$$

$$pK_L = -\lg K_L \approx 11,09$$

Nr. 7



$$K = 10^{-pK} = 10^{-2,9} = 0,001259 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

Analog der Autoprotolyse des Wassers gilt auch hier: $K = c(\text{NO}_3^-) \cdot c(\text{H}_2\text{NO}_3^+)$

Da laut Reaktionsgleichung $c(\text{NO}_3^-) = c(\text{H}_2\text{NO}_3^+)$ gilt, kann man mit x auch schreiben: $K = x^2 = 0,001259 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$.

$$\Rightarrow x = 0,03548 \text{ mol/L} = c(\text{NO}_3^-)$$

Nr. 9

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-pH} = 10^{-2,89} = 0,001288 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$pOH = 14 - pH \Rightarrow pOH = 14 - 2,89 = 11,11$$

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-pOH} = 10^{-11,11} \approx 7,762 \cdot 10^{-12} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$