



Löslichkeit und Löslichkeitsprodukt

Carina Dengel, WS 07/08; Nadja Klinger, WS 09/10

Gliederung

1	Erläuterung des Begriffes Löslichkeit und Darstellung des Löse-Vorgangs	1
1.1	Löslichkeit.....	1
1.2	Löse-Vorgang eines Salzes.....	2
2	Das Löslichkeitsprodukt.....	4
2.1	Herleitung der Formel aus dem Massen-Wirkungsgesetz	4
2.2	Bedeutung des Löslichkeitsprodukt	4
3	Aufgaben und Anwendungen zum Löslichkeitsprodukt	5

Einstieg:

*Vom Felsendach der Höhle hängt
ein Stein, der ständig wächst und nässt,
was wiederum, obwohl beengt,
ein Gegenstück entstehen lässt.
Ich packe dich schon fast beim Schopf,
sagt oben her der Stalaktit.
Du bist und bleibst ein übler Tropf,
erwidert drauf der Stalagmit.
Das Wachstum und der Streit sind leise,
man sieht es kaum und hört kein Wort.
Auf diese ganz subtile Weise,
pflanzt Tropfstein sich mit Tropfstein fort.*

Ingo Baumgartner

Die Entstehung von Tropfsteinen basiert auf dem Löslichkeitsprodukt.

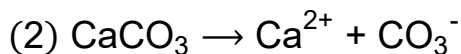
1 Erläuterung des Begriffes Löslichkeit und Darstellung des Löse-Vorgangs

1.1 Löslichkeit

Die Löslichkeit entspricht der maximalen Stoff-Menge, die sich bei einer gegebenen Temperatur in einer bestimmten Menge eines gegebenen Lösemittels löst. Es handelt sich also um die Konzentration einer gesättigten Lösung.

1.2 Löse-Vorgang eines Salzes

Kohlenstoffdioxidhaltiges Wasser fließt in einen porösen Kalkstein, der in reinem Wasser schlecht löslich ist. Das Calciumcarbonat (Kalk) wird aufgelöst und es entstehen Ca^{2+} und 2HCO_3^- -Ionen. CaCO_3 ist auch in Wasser löslich; jedoch nur in kleinen Mengen.



Beim Löse-Vorgang des Salzes CaCO_3 treten die Ionen Ca^{2+} und CO_3^{2-} aus dem Kristall-Gitter in die Lösung über. Der Kristall CaCO_3 und die Lösung müssen elektrisch neutral sein. Im Gleichgewichtszustand werden pro Zeit-Einheit daher ebenso viele Ionen-Paare Ca^{2+} und CO_3^{2-} aus der Lösung im Kristall-Gitter CaCO_3 eingebaut, wie aus dem Gitter in Lösung gehen. Die Lösung ist also gesättigt (gelöste Stoff-Menge entspricht der maximalen Löslichkeit).

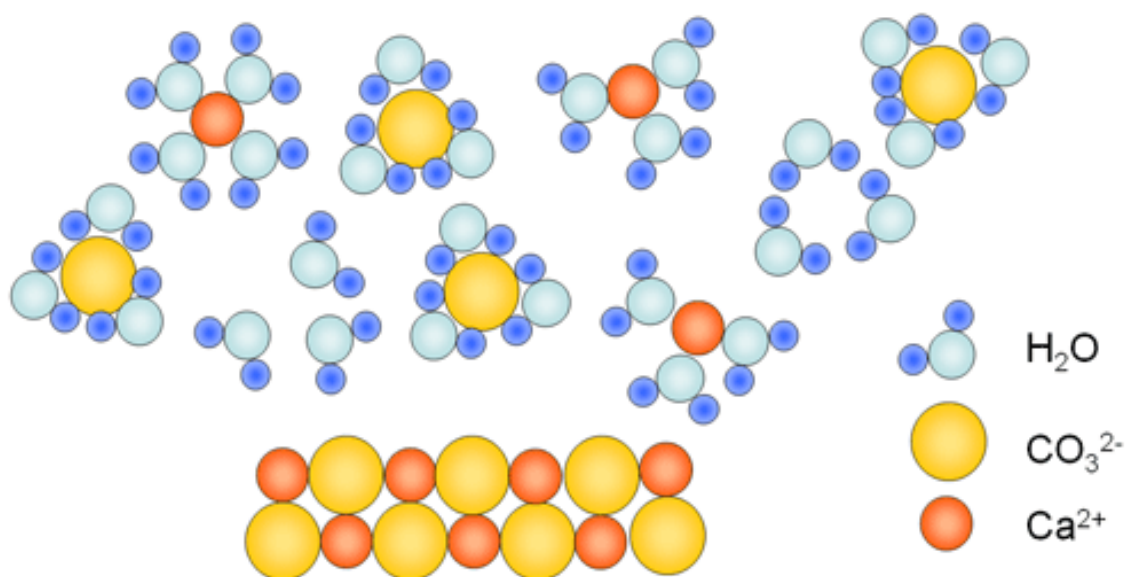


Abb. 1: Teilchen-Modell: gesättigte Lösung

Was geschieht aber, wenn keine Gleichgewichtszustand vorliegt?

Man unterscheidet dann zwei verschiedene Fälle:

1. Ungesättigte Lösung: gelöste Stoff-Menge ist kleiner als die maximale Löslichkeit
2. Übersättigte Lösung: gelöste Stoff-Menge ist größer als die maximale Löslichkeit

Der Feststoff wird hier solange ausgefällt, bis die Lösung wieder gesättigt ist. Bezogen auf die Tropfsteine bedeutet das: Wird der Lösung CO_2 entzogen, wird das Gleichgewicht gestört, was zur Folge hat, dass die Lösung übersättigt ist. Ein neues Gleichgewicht stellt sich ein, indem CaCO_3 auskristallisiert (Gleichung (1)). Dadurch entstehen Tropfsteine.

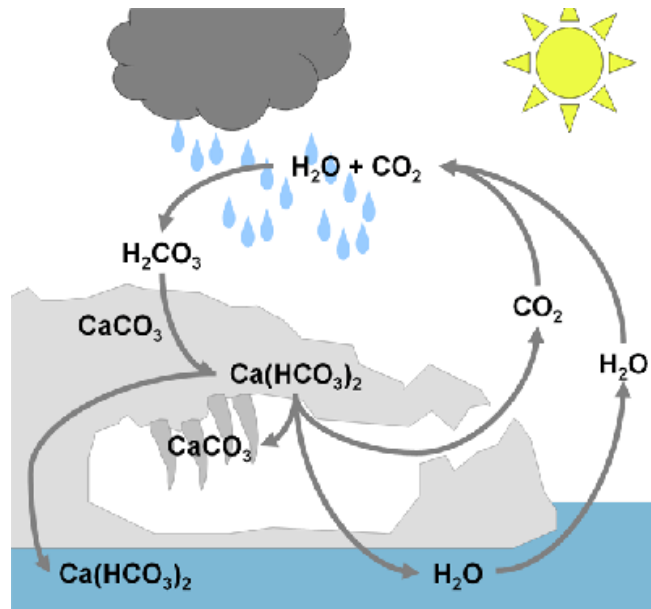
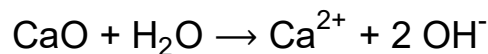


Abb. 2: Entstehung von Tropfsteinen

Versuch zum Löslichkeitsprodukt am Beispiel Calciumcarbonat:



Durchführung 1: eine Waschflasche wird zu 1/3 mit Kalkwasser gefüllt. In diese wird anschließend CO_2 durch schmelzen von Trockeneis eingeleitet.

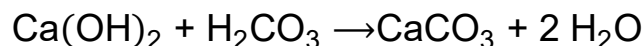
Beobachtung 1: Das Kalkwasser trübt sich.

Deutung 1: Beim Einleiten von CO_2 -haltiger Luft bildet sich ein Niederschlag von CaCO_3 .

1. Es entsteht Kohlensäure



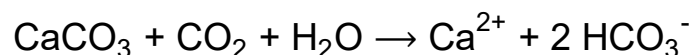
2. Die Kohlensäure reagiert sofort mit dem Ca(OH)_2 zu CaCO_3 . Der Feststoff fällt aus und trübt die Lösung. Die Lösung ist jetzt übersättigt.



Durchführung 2: In die Waschflasche wird weiter CO_2 eingeleitet.

Beobachtung 2: Das Kalkwasser wird wieder klar.

Deutung 2: Beim längeren Durchleiten von CO_2 löst sich der CaCO_3 -Niederschlag unter Bildung von CaCO_3 wieder.



Durchführung 3: ein Teil des geklärten Kalkwassers aus Durchführung 2 wird erhitzt.

Beobachtung 3: Es kommt erneut zu einer Trübung.

Deutung 3: Beim Erhitzen entweicht CO_2 aus der Lösung. Entsprechend des Prinzips des kleinsten Zwanges nach LeChatelier fällt erneut CaCO_3 aus.

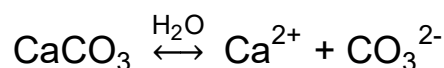


Kontroll-Frage: Warum löst sich das Calciumhydrogencarbonat besser in Wasser als das CaCO_3 ?

Antwort: Wasser kann, im Gegensatz zum CaCO_3 , zum Calciumhydrogencarbonat Wasserstoffbrücken-Bindungen ausbilden.

2 Das Löslichkeitsprodukt

2.1 Herleitung der Formel aus dem Massen-Wirkungsgesetz



Bei einer gesättigten Lösung ist die Zahl der Ionen, die in Lösung gehen, gleich der Zahl der Ionen, die an der Kristall-Oberfläche auskristallisieren. Da ein dynamisches Gleichgewicht vorliegt, kann man auf die Dissoziation das Massen-Wirkungsgesetz anwenden:

$$K = \frac{a(\text{Ca}^{2+}) * a(\text{CO}_3^{2-})}{a(\text{CaCO}_3)}$$

K= Gleichgewichtskonstante der Dissoziation

a(Ca²⁺)= Aktivität der Ca²⁺-Ionen

a(CO₃²⁻)= Aktivität der CO₃²⁻-Ionen

a(CaCO₃)= Aktivität des CaCO₃

Die Aktivitäten müssen verwendet werden, da das Massen-Wirkungsgesetz interionische Wechselwirkungen nicht berücksichtigt.

$$a = f * c$$

a= Aktivität

f= Aktivitätskoeffizient

c= Konzentration

Die Aktivität für Feststoffe beträgt definitionsgemäß 1.

Da Calciumcarbonat ein schwer löslicher Stoff ist, ist die Lösung sehr stark verdünnt. In diesem Fall kann man anstatt der Aktivitäten die Konzentrationen für die Berechnung verwenden, da „f“ annähernd den Wert 1 besitzt. Damit ergibt sich für das Löslichkeitsprodukt von Calciumcarbonat folgender Ausdruck:

$$K_L(\text{CaCO}_3) = c(\text{Ca}^{2+}) * c(\text{CO}_3^{2-})$$

Allgemeine Schreibweise des Löslichkeitsproduktes:



$$K_L = c(A^{b+})^a * c(B^{a-})^b$$

2.2 Bedeutung des Löslichkeitsprodukt

Das Löslichkeitsprodukt beschreibt das heterogene Gleichgewicht zwischen der gesättigten Lösung eines Salzes und seinem festen Boden-Körper. Zudem ist es temperaturabhängig.

Das Löslichkeitsprodukt ist ein Maß für die Löslichkeit einer bestimmten Verbindung:

Löslichkeitsprodukt groß → leichtlösliches Salz

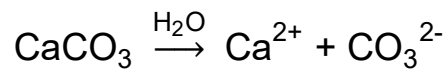
Löslichkeitsprodukt klein → schwerlösliches Salz

3 Aufgaben und Anwendungen zum Löslichkeitsprodukt

Beispiel 1: Aufgabe

Das Löslichkeitsprodukt von CaCO_3 beträgt $4,8 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$!

Wie viel mol bzw. mg CaCO_3 lösen sich in einem Liter Wasser?



$$K_L(\text{CaCO}_3) = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) = 4,8 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

$$\sqrt{4,8 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}} = 6,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$n = c \cdot V$$

$$6,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1 \text{ L} = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$m = n \cdot M$$

$$m = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \left[1 \cdot 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 1 \cdot 12 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 3 \cdot 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right] = 6,9 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 6,9 \text{ mg}$$

Beispiel 2: Wasserhärte

Für die Wasserhärte sind v. a. Calcium- und Magnesium-Ionen verantwortlich. Die Konzentration dieser Kationen bezeichnet man als die Gesamthärte. Die Gesamthärte wird unterschieden in die temporäre Härte (Calcium- und Magnesiumhydrogencarbonate) und die permanente Härte (Calcium- und Magnesiumsulfate). Hartes Wasser kann den Bedarf an Waschmitteln steigern. In den heute verwendeten Waschmitteln sind daher Entkalker enthalten. Als Entkalker werden heute v. a. Zeolith A und Polyacrylsäuren verwendet. Diese Stoffe binden die Calcium-Ionen und geben dafür Natrium-Ionen frei. Dadurch entfernen sie Calcium-Ionen aus dem Gleichgewicht und verhindern, dass das Löslichkeitsprodukt erreicht wird. Die Dosierung der Waschmittel erfolgt u. a. nach den Härtegraden des verwendeten Wassers.

Beispiel 3: Entstehung von Nierensteinen

Die Nierenstein-Bildung ist noch nicht vollständig geklärt. Die Steine bestehen aus bestimmten Substanzen, wie Calcium-Salzen, Harnsäure, Magnesiumammoniumphosphat, Cystein u. a.. Diese Stoffe liegen normalerweise im Harn in gelöster Form vor. Ist ihre Konzentration dort so hoch, dass ihr Löslichkeitsprodukt überschritten wird, kristallisieren sie aus. An dem Kristallisationskeim lagern sich immer neue Schichten an. So nimmt der Keim an Größe zu. Die Gründe, warum es zu einem verstärkten Auftreten bestimmter Substanzen im Urin kommt, sind vielfältig.

Zusammenfassung: Durch die Formel Löslichkeitsprodukt können zum einen die Stoffmengen-Konzentrationen der Ionen in einer gesättigten Lösung berechnet werden. Zum anderen kommen die relativen Begriffe „löslich“ und „unlöslich“ und deren Variationen, wie z. B. „sehr leicht löslich“ mit konkreten Zahlenwerten in Verbindung.

Abschluss: fehlt

Quellen:

1. Riedel, E.: Anorganische Chemie, 2. Aufl., de Gruyter, Berlin, 1990
2. Mortimer, C. E.; Müller, U.: Chemie, 9. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2007
3. http://www.chemie.uni-hamburg.de/studium/module/c80/6.Tag_ChemischesGleichgewicht.pdf; (15.12.2007) (Quelle verschollen, 10.11.2020)
4. <http://www2.chemie.uni-erlangen.de/projects/vsc/chemie-mediziner-neu/phasen/lp1.html>; (15.12.2007)
5. <http://www.cci.ethz.ch/vorlesung/de/al1/node38.html>; (18.12.2007) (Quelle verschollen, 10.11.2020)
6. <http://www.medchem.axel-schunk.de/harnsteine/loeslichkeit.html>; (18.12.2007)
7. <http://www.tomchemie.de/Mathe/12/12.6%20Loeslichkeitsprodukt%20-%20Grundlagen.htm>; (18.12.2007)
8. http://chemiedidaktik-graz.at/content/pdf/calciumcarbonat_word.pdf; (01.12.2009) (Quelle verschollen, 10.11.2020)
9. http://www.chemieunterricht.de/dc2/wsu-haush/kap_045.htm; (12.12.2009)
10. <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBwerkstoffmaterialsubstanz/Poly-carboxylate.php>; (13.12.2009)
11. Kickelbick G.: Chemie für Ingenieure, 1. Aufl., Pearson Studium, München, 2008
12. Nylén, Wigren, Joppien: Einführung in die Stöchiometrie, 19. Aufl., Steinkopff, Darmstadt, 1996
13. Holleman-Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 91.-100. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin, 1985
14. Brown, LeMay, Burste: Chemie - Die zentrale Wissenschaft, 10. Aufl., Pearson Studium, München, 2007
15. U. Müller: Anorganische Strukturchemie, 2. Aufl., Teubner, Stuttgart, 1992
16. V. Wiskamp: Anorganische Chemie, 1. Aufl., Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 1996
17. <http://www.seilnacht.com>; (16.12.2009)
18. <http://www.wasserwerk.at>; (16.12.2009)
19. <http://www.chemiedidaktik.uni-oldenburg.de>; (26.01.2010) (Quelle verschollen, 10.11.2020)
20. <http://bme-hydropath.de/media/WasserhärtkarteDeutschland.gif>; (16.12.2009) (Quelle verschollen, 10.11.2020)