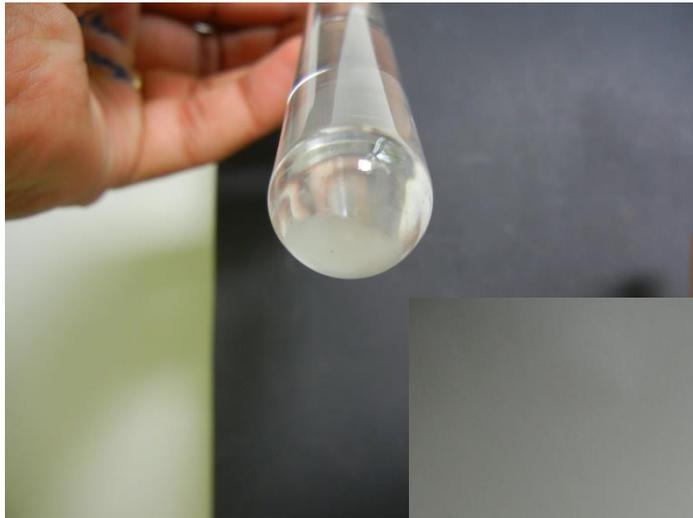


# Schulversuchspraktikum

Jans Manjali

Sommersemester

Klassenstufen 11 & 12



---

## Löslichkeitsprodukt

---

### **Auf einen Blick:**

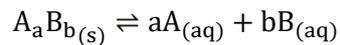
In diesem Protokoll wird das Thema Löslichkeit bzw. das Löslichkeitsprodukt von Salzen näher beleuchtet. Dabei liegt der Fokus der Versuche vor allem auf der Bestimmung des Löslichkeitsprodukts. Es werden zwei Methoden vorgestellt, wie in guter Näherung das Löslichkeitsprodukt ermittelt werden kann.

## **Inhalt**

1	Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele.....	2
2	Relevanz des Themas für SuS der Klasse 11 & 12 und didaktische Reduktion.....	3
3	Lehrer -/Schülerversuch – Bestimmung des Löslichkeitsprodukts von Silberchlorid.....	3
4	Schülerversuch – Schätzung des Löslichkeitsprodukts.....	5
5	Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsblatt.....	6
5.1	Erwartungshorizont (Kerncurriculum).....	6
5.2	Erwartungshorizont (Inhaltlich).....	7

## 1 Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele

Viele Stoffe, insbesondere Salze, lassen sich in Wasser leicht oder schwer lösen. Silbernitrat beispielsweise löst sich sehr gut in Wasser, während Silberchlorid schwerlöslich ist. Aber auch hier gehen Silber- und Chloridionen in geringen Mengen in Lösung. Gleichzeitig kristallisiert Silberchlorid und fällt aus. Es entsteht ein heterogenes Gleichgewicht zwischen den zwei Phasen (Bodenkörper und Lösung), d.h. es gehen genauso viele Ionen in Lösung wie Festkörper ausfällt. Das Löslichkeitsprodukt lässt sich aus dem Massenwirkungsgesetz herleiten und ist das Produkt der Ionenkonzentrationen einer gesättigten Lösung:



$$K_L = c^a(A) \cdot c^b(B)$$

Im Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe ist das Löslichkeitsprodukt zunächst dadurch beschrieben, dass die Schüler\_innen die Löslichkeitseigenschaften eines Stoffes erklären können sollen (Basiskonzept Struktur-Eigenschaft). Des Weiteren kann erst ein Löslichkeitsprodukt aufgestellt werden, wenn die Schüler\_innen das chemische Gleichgewicht der Reaktion auf Stoff- und Teilchenebene erkennen und beschreiben sowie das Massenwirkungsgesetz aufstellen können. Im Zusammenhang mit einer übersättigten Lösung beschreiben die Schüler\_innen das Verschieben der Gleichgewichtsreaktion und wenden hierbei das Prinzip nach Le Chatelier an, damit sich das Löslichkeitsprodukt wieder einstellt (Basiskonzept Kinetik und chemisches Gleichgewicht).

Der Lehrer-/Schülerversuch beschäftigt sich mit der Ermittlung des Löslichkeitsprodukts von Silberchlorid. Dabei beschreiben die Schüler\_innen die galvanische Zelle als Kopplung zweier Redoxgleichgewichte und berechnen mithilfe der Messung der Spannung und der Umformung der Nernst'schen Gleichung das Löslichkeitsprodukt. Dadurch verknüpfen die Schüler\_innen chemische Überlegungen mit mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Im weiteren Schülerversuch wird eine weitere Methode vorgestellt, wie das Löslichkeitsprodukt in guter Näherung geschätzt werden kann. Dadurch erlernen die Schüler\_innen verschiedene Herangehensweisen zu Bestimmung des Löslichkeitsprodukts.

## 2 Relevanz des Themas für SuS der Klasse 11 & 12 und didaktische Reduktion

Bei dem Versuch verschiedene Stoffe in einem Lösungsmittel (meistens Wasser) zu lösen haben Schüler\_innen schon oft erlebt, dass ein Stoff, wie beispielsweise Zucker, Salz oder andere Lebensmittel, sich nur zu einem bestimmten Grad lösen lässt und danach einen Bodensatz bildet oder allgemein schwerlöslich ist. An diesen Alltagsbeobachtungen kann das Thema Löslichkeitsprodukt im Chemieunterricht veranschaulicht werden. Auch das Phänomen des Verkalkens auf verschiedenen Materialien, wie beispielsweise im Bad oder im Wasserkocher, beruht auf dem Löslichkeitsprodukt von Calciumcarbonat. Auf die gleiche Weise bilden sich die Tropfsteine in Höhlen. Eine große gesundheitliche Relevanz besitzt das Löslichkeitsprodukt im Zusammenhang mit der Ausbildung von Nierensteinen. In den Nieren kann es häufig zu übersättigten Lösungen von Salzen kommen. Bei Fehlen bestimmter Schutzstoffe kristallisieren diese aus und es bildet sich ein Nierenstein. Da das Thema Löslichkeit und das Herleiten des Löslichkeitsprodukts nachvollziehbar und verständlich dargestellt werden kann, wird auf eine didaktische Reduktion des Themas verzichtet.

## 3 Lehrer-/Schülerversuch – Bestimmung des Löslichkeitsprodukts von Silberchlorid

Zur Ermittlung des Löslichkeitsprodukts von Silberchlorid wird die Spannung eines galvanischen Elements gemessen und über die Nernst'sche Gleichung das Löslichkeitsprodukt errechnet.

Gefahrenstoffe		
Silbernitrat	H:272-314-410	P: 273-280-301+330+331-305+351+338-309+310
Natriumchlorid	--	--
Kaliumnitrat	H: 272	P: 210-221
Silberchlorid	--	--
		

### 3 Lehrer-/Schülerversuch – Bestimmung des Löslichkeitsprodukts von Silberchlorid

---

- Materialien:** Silberelektroden, 2x 50 ml Bechergläser, Filterpapierstreifen, Glasstab, Kabel, Multimeter
- Chemikalien:** Silbernitratlösung ( $c = 0,1 \text{ mol/L}$ ), Natriumchloridlösung ( $c = 1 \text{ mol/L}$ ), Kaliumnitratlösung ( $c = 3 \text{ mol/L}$ )
- Durchführung:** In ein Becherglas werden 50 ml Silbernitrat- in das andere 50 ml Natriumchloridlösung gefüllt. Anschließend wird ein Streifen Filterpapier mit Kaliumnitratlösung getränkt und die Enden jeweils in die beiden Bechergläser getaucht. Zu der Natriumchloridlösung werden 3 Tropfen der Silbernitratlösung gegeben. Die Silberelektroden werden über die Kabel mit dem Multimeter verbunden und in die Bechergläser getaucht. Nun wird direkt nach dem Eintauchen der Elektroden die Spannung am Multimeter (Gleichspannung DC einstellen) abgelesen (s. Abb. 1).
- Beobachtung:** Nach Zugabe der 3 Tropfen Silbernitratlösung in die Natriumchloridlösung kann ein weißer Niederschlag beobachtet werden. Die gemessene Spannung beträgt 0,486 V.



Abb. 1: Versuchsaufbau der galvanischen Zelle. Links die Anode mit der Natriumchloridlösung und rechts die Kathode mit der Silbernitratlösung.

- Deutung:** In der Natriumchloridlösung (Anode) fällt nach Zugabe von Silbernitratlösung festes Silberchlorid aus. Nach der Nernst'schen Gleichung gilt für das System  $\text{Ag}/\text{NaCl} (c = 1 \text{ mol/L}) + 3 \text{ Tr. AgNO}_3 // \text{AgNO}_3 (c = 1 \text{ mol/L}) / \text{Ag}$ :

NERNST'sche Gleichung:  $\Delta E = 0,059 \text{ V} \cdot \lg\left(\frac{c_{\text{Kathode}}(\text{Ag}^+)}{c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+)}\right)$

$$\Delta E = 0,059 \text{ V} \cdot \lg\left(\frac{0,1}{c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+)}\right) = -0,059 \text{ V} - 0,059 \text{ V} \cdot \lg(c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+))$$

$$\lg(c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+)) = -\frac{\Delta E + 0,059 \text{ V}}{0,059 \text{ V}}$$

$$c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+) = 10^{-\frac{\Delta E + 0,059 \text{ V}}{0,059 \text{ V}}}$$

Einsetzen der gemessenen Spannung 0,486 V:

$$c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+) = 10^{-\frac{0,486 \text{ V} + 0,059 \text{ V}}{0,059 \text{ V}}} = 5,79 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{Cl}^-) = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\Rightarrow K_L = c_{\text{Anode}}(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-) = 5,79 \cdot 10^{-10} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 5,79 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

Der Literaturwert beträgt etwa  $1,7 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  bei 25 °C.

Der absolute Fehler liegt bei  $4,09 \cdot 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  und der relative Fehler beträgt 240 %. Mögliche Temperaturunterschiede könnten der Grund dafür sein, dass sich die Werte unterscheiden.

Entsorgung: Die Entsorgung der Lösungen erfolgt in den anorganischen Abfall mit Schwermetallen.

Literatur: Göbel, K. (26. Oktober 1994). Das chemische Gleichgewicht. (C. i. Schule, Hrsg.) Marburg.

**Anmerkungen:** Die Schüler\_innen sollten hierbei über Kenntnisse der Funktionsweise einer galvanischen Zelle verfügen und die Nernst'sche Gleichung anwenden können.

#### 4 Schülerversuch – Schätzung des Löslichkeitsprodukts

In diesem Versuch soll durch Mischen der verschiedenen Probelösungen von Kaliumchlorid und Perchlorsäure jeweils gleicher Konzentrationen das Löslichkeitsprodukt des entstehenden Kaliumperchlorats grob innerhalb bestimmter Grenzen geschätzt werden.

Gefahrenstoffe		
Kaliumchlorid	--	--
Perchlorsäure	H: 272-314	P: 260-280-303+361+353-305+351+338-310
Kaliumperchlorat	H:271-302	P: 220
		

Materialien: 12 Reagenzgläser, Reagenzglasständer, 10 mL Pipette mit Peleusball, 2x 100 mL Bechergläser

Chemikalien: Kaliumchlorid, Perchlorsäure, dest. Wasser

Durchführung: Es werden 100 mL 1 molarer Lösungen an Kaliumchlorid (Lösung X) bzw. Perchlorsäure (Lösung Y) als Ausgangslösungen hergestellt. Daraus werden jeweils 10 mL der Probelösungen  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  und  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ,  $Y_4$  in Reagenzgläser mit folgenden Konzentrationen hergestellt:

- Für 0,6 molare Lösungen  $X_1$  und  $Y_1$ : je 6 mL der Lösungen in 4 mL Wasser.
- Für 0,45 molare Lösungen  $X_2$  und  $Y_2$ : je 4,5 mL der Lösungen in 5,5 mL Wasser.
- Für 0,2 molare Lösungen  $X_3$  und  $Y_3$ : je 2 mL der Lösungen in 8 mL Wasser.
- Für 0,1 molare Lösungen  $X_4$  und  $Y_4$ : je 1 mL der Lösungen in 9 mL Wasser.

Anschließend werden je 5 mL der Lösungen  $X_1$  und  $Y_1$ ,  $X_2$  und  $Y_2$ ,  $X_3$  und  $Y_3$ ,  $X_4$  und  $Y_4$  in einen Reagenzglas gegeben und vermischt und die Veränderungen beobachtet.

Beobachtung: In dem Reagenzglas  $X_1Y_1$  und  $X_2Y_2$  ist ein Niederschlag zu erkennen, wobei in  $X_2Y_2$  viel weniger Feststoff ausfällt. In den Probelösungen  $X_3Y_3$  und  $X_4Y_4$  ist kein Niederschlag zu erkennen (s. Abb. 2).

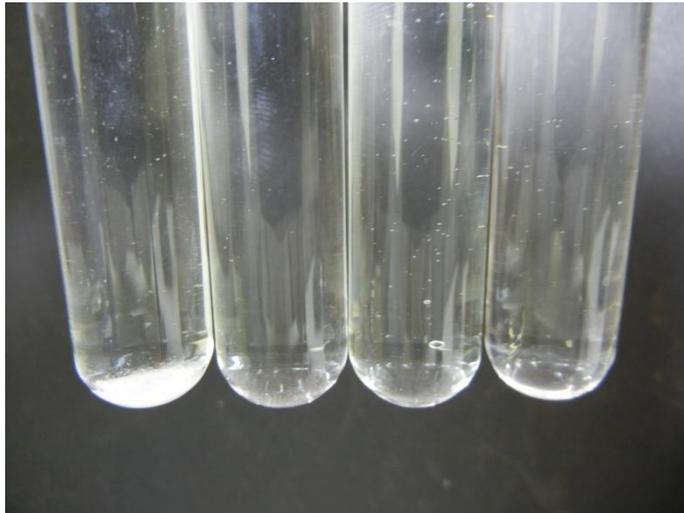
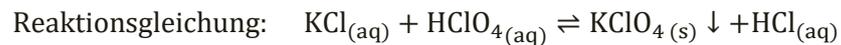


Abb. 2: Reagenzgläser  $X_1Y_1$ ,  $X_2Y_2$ ,  $X_3Y_3$  und  $X_4Y_4$  (von links nach rechts). In dem Gemisch  $X_1Y_1$  ist ein deutlicher Niederschlag während in  $X_2Y_2$  nur ein ganz geringer Niederschlag zu erkennen ist. In den anderen Reagenzgläsern fällt kein Feststoff aus.

Deutung:



In den ersten beiden Mischungen ist Kaliumperchlorat ausgefallen, in  $X_1Y_1$  mehr als in  $X_2Y_2$ . Da die Konzentrationen von Kalium- und Perchlorat-Ionen in der Mischung gleich groß sind gilt:

Gemisch  $X_1Y_1$ :

$$c(K^+) = c(ClO_4^-) = \frac{n(KCl)}{V(X_1Y_1)} = \frac{n(HClO_4)}{V(X_1Y_1)}$$

$$c(K^+) = c(ClO_4^-) = \frac{c(KCl) \cdot V(KCl)}{V(X_1Y_1)} = \frac{0,6 \text{ mol/L} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ L}}{10 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 0,3 \text{ mol/L}$$

Gemisch  $X_2Y_2$ :  $c(K^+) = c(ClO_4^-) = 0,225 \text{ mol/L}$

Gemisch  $X_3Y_3$ :  $c(K^+) = c(ClO_4^-) = 0,1 \text{ mol/L}$

Gemisch  $X_4Y_4$ :  $c(K^+) = c(ClO_4^-) = 0,05 \text{ mol/L}$

Berechnung der Ionenprodukte:

Gemisch  $X_1Y_1$ :

$$I_p(X_1Y_1) = c(K^+) \cdot c(ClO_4^-) = 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,3 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,09 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

#### 4 Schülerversuch – Schätzung des Löslichkeitsprodukts

---

$$\text{Gemisch } X_2Y_2: I_p(X_2Y_2) = 0,0506 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

$$\text{Gemisch } X_3Y_3: I_p(X_3Y_3) = 0,01 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

$$\text{Gemisch } X_4Y_4: I_p(X_4Y_4) = 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$$

Das Löslichkeitsprodukt liegt demnach im Bereich zwischen  $2,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$  und  $0,0506 \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$ , da sich in dem Gemisch  $X_1Y_1$  und  $X_2Y_2$  ein Niederschlag gebildet hat und in den Mischungen  $X_3Y_3$  und  $X_4Y_4$  nicht.

Der Literaturwert liegt bei  $8,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}$  und demnach im Bereich der jeweiligen geschätzten Werte.

**Entsorgung:** Die Lösungen werden vermischt und mit Kaliumchloridlösung gefällt. Der Rückstand wird im Feststoff-Abfall entsorgt. Das Filtrat mit viel Wasser in den Ausguss gegeben.

**Literatur:** Endersch, J. Abgerufen am 12. August 2015 von <http://www.jonase.de/wp-content/uploads/2010/10/A1-Schaetzung-eines-Loeslichkeitsprodukts.pdf>

Mortimer, C., & Müller, U. (2007). *Chemie*. Stuttgart : Thieme Verlag.

**Anmerkungen:** Dieser Versuch eignet sich, um erst das Löslichkeitsprodukt zunächst grob abzuschätzen und anschließend, wie im ersten Versuch, genau zu berechnen.

## Arbeitsblatt – Bestimmung des Löslichkeitsprodukts

- Aufgabe 1: Definiere den Begriff Löslichkeitsprodukt mithilfe des Massenwirkungsgesetzes. Skizziere hierzu das chemische Gleichgewicht von Silberchlorid in wässriger Lösung auf der Teilchenebene.
- Aufgabe 2: Die Spannung einer galvanischen Zelle für das System  $\text{Ag}/\text{NaCl} (c = 1 \text{ mol/L}) + 3 \text{ Tr. AgNO}_3 // \text{AgNO}_3 (c = 1 \text{ mol/L}) / \text{Ag}$  beträgt 0,485 V. Berechne daraus das Löslichkeitsprodukt von Silberchlorid mit Hilfe der Nernst'schen Gleichung.
- Aufgabe 3: Diskutiere die eventuelle Abweichung zwischen deinem errechneten Wert für das Löslichkeitsprodukt und dem Literaturwert.

## 5 Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsblatt

Das Arbeitsblatt beschäftigt sich mit der theoretischen Herleitung und Ermittlung des Löslichkeitsprodukts. Hierzu kann in den vorherigen Unterrichtsstunden die Schätzung des Löslichkeitsprodukts mithilfe des oben aufgeführten Schülerversuch durchgeführt worden sein. Des Weiteren sollte die Voraussetzung gegeben sein, dass sich die Schüler\_innen schon intensiv mit der Nernst'schen Gleichung beschäftigt und diese angewendet haben sowie den Aufbau und Funktion einer galvanischen Zelle kennen. Ziel ist es hier vor allen Dingen, dass die Schüler\_innen lernen fachliche Verknüpfungen herzustellen (Massenwirkungsgesetz und Nernst'sche Gleichung mit dem Löslichkeitsprodukt) und sich diese Zusammenhänge selbst zu erarbeiten.

### 5.1 Erwartungshorizont (Kerncurriculum)

Die im Kerncurriculum (Basiskonzepte Donator-Akzeptor und Kinetik und chemisches Gleichgewicht) zusammengefassten Kompetenzbereiche werden nachfolgend mit den Aufgaben des Arbeitsblatts verknüpft:

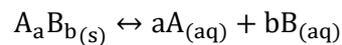
Fachwissen:	Die Schüler_innen erklären das Löslichkeitsprodukt, indem sie dieses aus dem Massenwirkungsgesetz herleiten und das chemische Gleichgewicht auf Teilchenebene anhand einer Skizze veranschaulichen (Aufgabe 1). Des Weiteren wenden sie ihr Wissen um die Funktionsweise einer galvanischen Zelle an (Aufgabe 2).
Erkenntnisgewinnung:	Die Schüler_innen leiten den Versuchsdaten der galvanischen Zelle Kennzeichen des chemischen Gleichgewichts ab und übertragen chemische Sachverhalte in mathematische Darstellungen (Aufgabe 2).
Kommunikation:	Die Schüler_innen argumentieren mithilfe des Massenwirkungsgesetzes und der Nernst'schen Gleichung den Zusammenhang mit dem Löslichkeitsprodukt (Aufgabe 1 und 2).
Bewerten:	Die Schüler_innen vergleichen die errechneten Werte mit den Literaturwerten und erläutern die Unterschiede mithilfe der Löslichkeitsprodukt-abhängigen Faktoren (Aufgabe 3).

In Aufgabe 1 definieren die Schüler\_innen das Löslichkeitsprodukt mithilfe des Massenwirkungsgesetzes (Anforderungsbereich I). Anschließend berechnen die Schüler\_innen das Löslich-

keitsprodukt anhand eines Beispiels (Anforderungsbereich II), diskutieren mögliche Abweichungen mit dem Literaturwert und begründen die Unterschiede (Anforderungsbereich III).

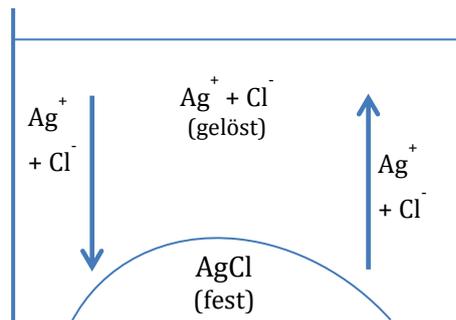
## 5.2 Erwartungshorizont (Inhaltlich)

Aufgabe 1: Das Produkt der Ionenkonzentrationen einer gesättigten Lösung wird als Löslichkeitsprodukt bezeichnet. Es gibt an, wie viel Salz bei einer bestimmten Temperatur maximal gelöst sein kann.



$$K = \frac{c^a(A) \cdot c^b(B)}{c(A_a B_b)}$$

$$K \cdot c(A_a B_b) = K_L = c^a(A) \cdot c^b(B)$$



Aufgabe 2: NERNST'sche Gleichung:  $\Delta E = 0,059 \cdot \lg\left(\frac{c_{Kathode}(Ag^+)}{c_{Anode}(Ag^+)}\right)$

$$\Delta E = 0,059 \cdot \lg\left(\frac{0,1}{c_{Anode}(Ag^+)}\right) = -0,059 - 0,059 \cdot \lg(c_{Anode}(Ag^+))$$

$$\lg(c_{Anode}(Ag^+)) = -\frac{\Delta E + 0,059}{0,059}$$

Wegen  $K_L = c_{Anode}(Ag^+) \cdot c(Cl^-)$  und  $c(Cl^-) = 1 \frac{mol}{L}$  gilt:

$$c_{Anode}(Ag^+) = K_L$$

$$\lg(K_L) = -\frac{\Delta E + 0,059}{0,059}$$

$$K_L = 10^{-\frac{\Delta E + 0,059}{0,059}} \text{ mol}^2/L^2$$

Einsetzen der gemessenen Spannung 0,485 V:

$$K_L = 10^{-\frac{0,485V+0,059}{0,059}} \text{ mol}^2/\text{L}^2 = 6,02^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$$

Aufgabe 3: Der Literaturwert beträgt etwa  $1,7^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$  bei 25 °C. Mögliche Temperaturunterschiede könnten der Grund dafür sein, dass sich die Werte unterscheiden.