

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

K. B.
Matthias Ernst
Gruppe 11

Datum des Praktikumstags: 6.11.2007
Protokoll-Datum: 11.11.2007
Assistent: A. Busch

Testat:

4. Versuch (F 44) - Auflösungs geschwindigkeit von Gips (CaSO_4)

Aufgabenstellung

- Messung der Leitfähigkeiten von demineralisiertem Wasser und von gesättigter Calciumsulfatlösung
- Messung des zeitlichen Verlaufs der Leitfähigkeit einer Lösung, bei der ein Calciumsulfatkristall in demineralisiertes Wasser eingebracht wurde
- Berechnung des Geschwindigkeitskoeffizienten k der Diffusion bei 291K

Theoretischer Hintergrund

Es wird ein CaSO_4 -Kristall in Wasser eingebracht, der sich daraufhin löst. Dabei geht man von einer sog. adhärierenden Schicht der Dicke δ aus, innerhalb derer die Ionen in die Lösung eindiffundieren. Dabei ist die Lösung direkt an der Phasengrenze des Kristalls zur Lösung gesättigt (c_∞). Die restliche Lösung wird stark gerührt, sodass die Lösung jenseits der adhärierenden Schicht eine überall gleiche Konzentration $c(t)$ aufweist. Da die adhärierende Schicht sehr klein ist, wird der Konzentrationsgradient im Bereich der adhärierenden Schicht ($x \in [0; \delta]$) als linear vorausgesetzt:

$$\frac{dc}{dx} = \frac{-(c_\infty - c(t))}{\delta} \quad (1)$$

Die Diffusion kann nun durch das 1. Ficksche Gesetz (hier schon in einer Dimension) beschrieben werden (mit j : Teilchenstromdichte, D : Diffusionskoeffizient, A : Oberfläche des Kristalls):

$$\vec{j}_x = -D \frac{dc}{dx} = \frac{1}{A} \frac{dn}{dt} \quad (2)$$

Um den zeitlichen Verlauf der Konzentration angeben zu können, wird Gleichung (2) mit A durchmultipliziert und durch das Volumen der Lösung, V , dividiert:

$$\frac{d\left(\frac{n}{V}\right)}{dt} = \frac{dc}{dt} = \frac{D \cdot A}{V \cdot \delta} (c_\infty - c(t)) = k(c_\infty - c(t)) \quad \text{mit } k = \frac{D \cdot A}{V \cdot \delta} \quad (3)$$

Diese Gleichung kann man mit der Randbedingungen $c(t=0)=0$ integrieren:

$$\int_{c(t=0)}^{c(t)} \frac{d\tilde{c}}{c_\infty - \tilde{c}(t)} = \int_0^t k d\tilde{t} \Rightarrow \ln\left(\frac{c_\infty}{c_\infty - c(t)}\right) = kt \quad (4)$$

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

Unter der Annahme, dass die Konzentration linear proportional zur Leitfähigkeit ist ($c = \frac{\kappa}{\Lambda_m}$), kann man diese Gleichungen in eine von der spezifischen Leitfähigkeit κ abhängige Gleichung umformen:

$$\ln\left(\frac{\kappa_\infty}{\kappa_\infty - \kappa(t)}\right) = kt = -\ln\left(\frac{\kappa_\infty - \kappa(t)}{\kappa_\infty}\right) = -\ln\left(1 - \frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty}\right) \quad (5)$$

Mit der Entwicklung des natürlichen Logarithmus in eine Taylorreihe nach der Formel

$\ln(1-x) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} x^n$ unter Vernachlässigung aller Terme quadratischer oder höherer Ordnung folgt daraus:

$$k_\kappa t = -\ln\left(1 - \frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty}\right) = -\left(-\left[\frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty} + \frac{1}{2}\left(\frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty}\right)^2 + \frac{1}{3}\left(\frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty}\right)^3 + \dots\right]\right) \approx \frac{\kappa(t)}{\kappa_\infty} \quad (6)$$

Diese Näherung ist zulässig unter der Voraussetzung, dass die spezifische Leitfähigkeit der gesättigten Lösung sehr viel größer ist als die der zum Zeitpunkt t ist: $\kappa(t) \ll \kappa_\infty$

Nach (5) und (6) erfolgt je eine Bestimmung des Wertes für k_κ .

Einen besseren Wert dafür erhält man, wenn man davon ausgeht, dass die Konzentration nicht linear von der molaren Leitfähigkeit abhängt:

$$\kappa = c \cdot \Lambda(c) \quad (7)$$

Dann kann man für die molare Leitfähigkeit Λ nach der Debye-Hückel-Onsager-Theorie ansetzen:

$$\Lambda(c) = \Lambda_0 - \left(\frac{|z_+ z_-| e^2}{3 \epsilon k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{q}} \frac{1}{r_D} \Lambda_0 + \frac{F^2 (|z_+| + |z_-|)}{6 \pi \eta N_A} \frac{1}{r_D} \right) \quad (8)$$

Λ_0 ist die molare Leitfähigkeit bei unendlicher Verdünnung, die man als Summe schreiben kann:

$$\Lambda_0 = \nu_+ \lambda_{0,+} + \nu_- \lambda_{0,-}$$

Dabei sind $\lambda_{0,+}$ und $\lambda_{0,-}$ die molaren Leitfähigkeiten der Kationen und Anionen bei unendlicher Verdünnung und $\nu_{0,+}$ und $\nu_{0,-}$ die stöchiometrischen Faktoren.

r_D ist der Debye-Radius, also der Radius der Ionenwolke (das heißt, der Abstand des Zentralatoms zur Sphäre maximaler Ionendichte in der Wolke), der sich angeben lässt als

$$r_D = \left(\frac{1}{4 \pi e^2} \frac{\epsilon k_B T}{2 N_A I} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

I ist die Ionenstärke: $I = \frac{1}{2} \sum_i z_i^2 c_i \stackrel{\text{hier}}{=} \frac{1}{2} (z_+^2 + z_-^2) c$

und für q gilt: $q = \frac{|z_+ z_-|}{|z_+| + |z_-|} \cdot \frac{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}}{|z_+| \lambda_{0,+} + |z_-| \lambda_{0,-}}$

Die weiteren Bezeichnungen sind:

z_i - Ladungszahl der Ionen i ; c_i - Konzentration der Ionen i in der Lösung; F - Faradaykonstante
 N_A - Avogadrokonstante; ϵ - Dielektrizitätskonstante und η - Viskosität des Lösungsmittels

Es lässt sich zeigen, dass die molare Leitfähigkeit nach der Debye-Hückel-Onsager-Theorie dem Kohlrausch'schen Quadratwurzelgesetz (10) gehorcht:

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

$$\Lambda_m(c) = \Lambda_0 - a \cdot \sqrt{c} \quad (10)$$

Dazu wird der Debye-Radius (9) in Gleichung (8) eingesetzt und c ausgeklammert:

$$\Lambda(c) = \Lambda_0 - \sqrt{\left(\frac{4\pi e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\varepsilon k_B T} \right) \frac{|z_+ z_-| e^2}{3\varepsilon k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{q}}} \Lambda_0 + \sqrt{\left(\frac{4\pi e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\varepsilon k_B T} \right) \frac{F^2 (|z_+| + |z_-|)}{6\pi \eta N_A}} \sqrt{c} \quad (11)$$

Gleichung (11) kann man auch in der Form $a = (A + B\Lambda_0)$ ausdrücken und erhält dann für A und B:

$$A = \sqrt{\left(\frac{4\pi e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\varepsilon k_B T} \right) \frac{F^2 (|z_+| + |z_-|)}{6\pi \eta N_A}} \quad (12)$$

$$B = \sqrt{\left(\frac{4\pi e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\varepsilon k_B T} \right) \frac{|z_+ z_-| e^2}{3\varepsilon k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{q}}} \quad (13)$$

A und B hängen also von den Ladungszahlen der Ionen, der Temperatur und der Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels ab. A hängt außerdem von dessen Viskosität ab, B außer im speziellen Fall $|z_+| = |z_-|$ von den molaren Grenzleitfähigkeiten der einzelnen Ionen (in q enthalten) ab. In diesem Fall, der später betrachtet wird, ergibt sich als eine Konstante.

Um Gleichung (8) vom CGS- ins SI-System umzurechnen, wird von ε ausgegangen: $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$.

Im CGS-System ist ε definiert als einheitenlose Größe mit $\varepsilon_0^{(CGS)} := \frac{1}{4\pi} := \varepsilon_0^{SI}$. Also ist

$\varepsilon_0^{(CGS)} = 4\pi \varepsilon_0^{SI}$ und es gilt für die Größe " ε ", die im Skript verwendet wird:

$$\varepsilon^{(CGS)} := 4\pi \varepsilon_0^{(SI)} \varepsilon^{(SI)} \Rightarrow \varepsilon^{(SI)} = \frac{\varepsilon^{(CGS)}}{4\pi \varepsilon_0^{(SI)}} \quad (14)$$

In Gleichung (8) eingesetzt ergibt sich:

$$\Lambda(c) = \Lambda_0 - \left(\frac{|z_+ z_-| e^2}{12\pi \varepsilon_0^{(SI)} \varepsilon_r^{(SI)} k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{q}} \frac{1}{r_D} \Lambda_0 + \frac{F^2 (|z_+| + |z_-|)}{6\pi \eta N_A} \frac{1}{r_D} \right) \quad (15)$$

Und mit Gleichung (14) und (8) ergibt sich für den Debye-Radius:

$$r_D = \left(\frac{1}{e^2} \frac{\varepsilon_0^{(SI)} \varepsilon_r^{(SI)} k_B T}{2N_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Gleichung (15) und (16) sind laut Literatur [1] folgendermaßen zu schreiben:

$$\Lambda(c) = \Lambda_0 - \left(\frac{|z_+ z_-| e^2}{12\pi \varepsilon_0^{(SI)} \varepsilon_r^{(SI)} k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{q}} \frac{1}{r_D} \Lambda_0 + \frac{F^2 (|z_+| + |z_-|)}{6\pi \eta N_A} \frac{1}{r_D} \right) \quad \text{und} \quad r_D = \left(\frac{1}{e^2} \frac{\varepsilon_0^{(SI)} \varepsilon_r^{(SI)} k_B T}{2N_A} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Welche Größe genau im Skript gemeint ist und warum dort offenbar nicht "sauber" (gemäß der heute üblichen Verwendung) zwischen ε und ε_r unterschieden wird, konnte trotz mehr als zehnstündiger Überlegung nicht geklärt werden. Die im Skript für die Berechnung angegeben Größe $\varepsilon = 80,93$ scheint nach Vergleich mit der Literatur eigentlich ε_r zu sein und wird als solches bei der Berechnung verwendet.

Für die Berechnung der Dicke der adhärenierenden Schicht gilt nach Einstein für den

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

Diffusionskoeffizienten des Salzes:

$$D_i = \frac{\mu_i k_B T}{|z_i| e} \quad (17)$$

Für die Ionenbeweglichkeit m gilt: $\mu_i = \frac{\lambda_i}{|z_i| F}$

Eingesetzt in Gleichung (17) unter der Bedingung, dass $D = D_+ + D_-$ ist, ergibt sich also:

$$D = \frac{\lambda_{0,+} \lambda_{0,-} k_B T (|z_+| + |z_-|)}{|z_+| |z_-| e^2 N_A (\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}) |z_+| |z_-|} \quad (18)$$

Versuchsdurchführung

Zunächst wurden die benötigten Geräte (Elektrode, Gefäß, Rührfisch) gründlich gesäubert, dann ca. 150ml demin. Wasser ins Gefäß gegeben und auf 18°C temperiert. Dann wurde die Leitfähigkeit des Wassers gemessen.

Anschließend wurde der auf eine Glasplatte geklebte Gipskristall vorsichtig in die Flüssigkeit eingebracht, stark gerührt und im Abstand von 2 Minuten die Leitfähigkeit der Lösung bestimmt. Währenddessen wurden ca. 100ml gesättigte CaSO₄-Lösung in einem zweiten Gefäß auf 18°C temperiert und nach Säuberung der Elektrode wurde wiederum die Leitfähigkeit der Lösung bestimmt.

Folgende Werte wurden bestimmt:

Oberfläche des Calciumsulfatkristalls	2,15cm ²
$\kappa(\text{H}_2\text{O})$ bei 18°C (291 K)	5,1 μS
$\kappa(\text{CaSO}_4 \text{ (aq, ges.)})$ bei 18°C (291 K)	2190 μS

Zeitlicher Verlauf der Leitfähigkeit nach Zugabe des Gipskristalls in die Lösung:

t [min]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
κ (μS)	5,3	7,4	8,7	10,1	11,2	12,4	13,7	14,8	16,0	17,2	18,4	19,6	20,9	22,0	23,2	24,5

Auswertung

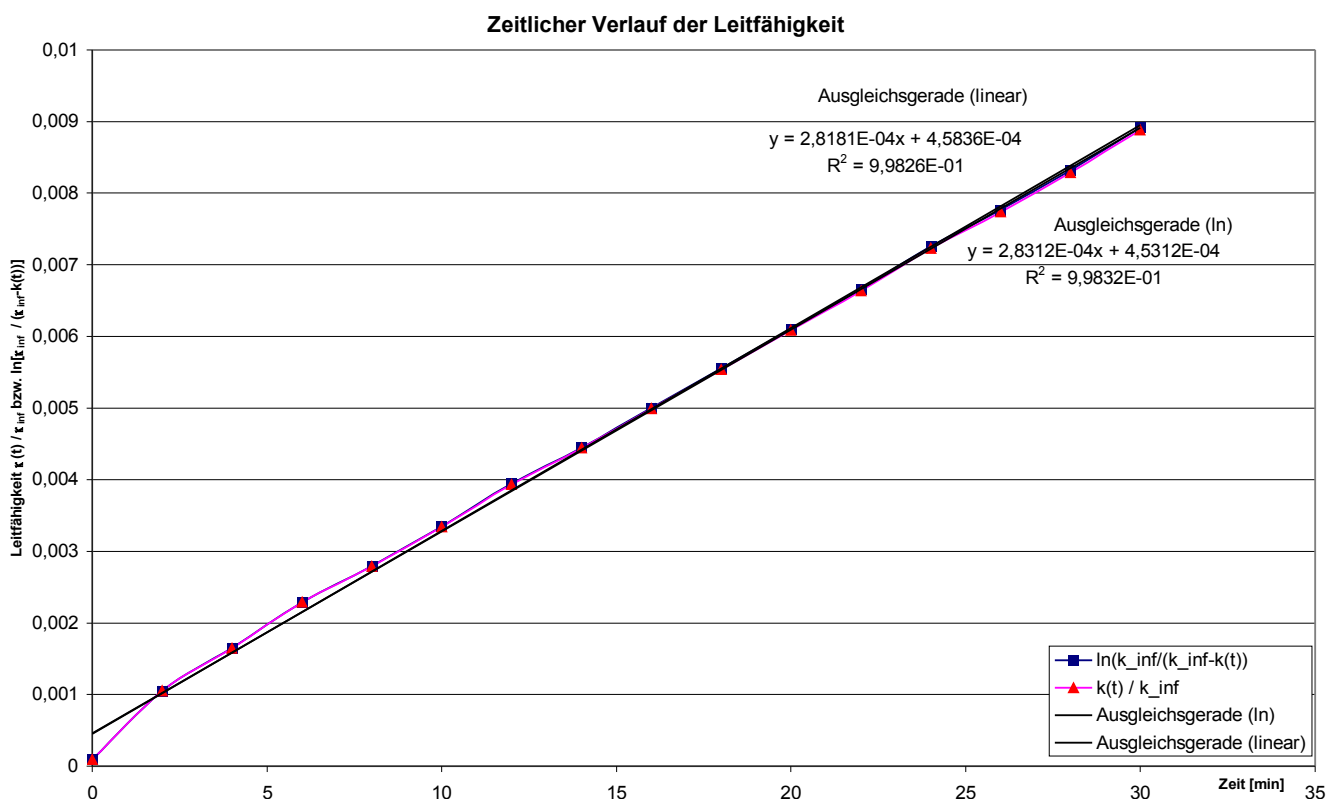
a) Bestimmung von k :

Alle Werte wurden um die Eigenfähigkeit des Wassers vermindert.

Im ersten Schaubild sind die Messwerte sowohl nach Gleichung (5) als auch nach Gleichung (6) aufgetragen:

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene



Aus der Steigung der Geraden lässt sich direkt der Parameter k ablesen, dieser ergibt sich für die

Auftragung nach Gleichung (5): $k_{(5)} = 2,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{min}} = 4,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{s}}$

Nach Gleichung (6) ergibt sich: $k_{(6)} = 2,8 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{min}} = 4,7 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{s}}$

Der Fehler aufgrund der Entwicklung des \ln beträgt 0,46%, ist also im Vergleich zur Genauigkeit der Messung sehr gering, folglich ist die Näherung, dass $\kappa(t) \ll \kappa_{\infty}$ ist, hier gut.

b) Bestimmung von A, B und r_D für wässrige 0,1M KCl-Lösung und ges. CaSO_4 -Lösung bei $T=291\text{K}$:

Laut Gleichung (15) ergibt sich für A und B:

$$A = \sqrt{\left(\frac{e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\epsilon_r^{(SI)} \epsilon_0^{(SI)} k_B T} \right) \frac{e^2 N_A (|z_+| + |z_-|)}{6 \pi \eta}} \quad \text{und} \quad B = \sqrt{\left(\frac{e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2)}{\epsilon_r^{(SI)} \epsilon_0^{(SI)} k_B T} \right) \frac{|z_+ z_-| e^2}{12 \pi \epsilon_r^{(SI)} \epsilon_0^{(SI)} k_B T} \frac{q}{1 + \sqrt{|q|}}}$$

q lässt sich vereinfachen, ohne die molaren Grenzleitfähigkeiten zu kennen, denn für KCl ist $z_+=1$ und $z_-=-1$, für CaSO_4 ist $z_+=2$ und $z_-=-2$

Also ist $q_{\text{KCl}} = \frac{|1 \cdot (-1)|}{|1| + |-1|} \frac{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}}{|1| \lambda_{0,+} + |-1| \lambda_{0,-}} = \frac{1}{2} \frac{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}}{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}} = \frac{1}{2}$ und ebenso

$$q_{\text{CaSO}_4} = \frac{|2 \cdot (-2)|}{|2| + |-2|} \frac{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}}{|2| \lambda_{0,+} + |-2| \lambda_{0,-}} = 1 \cdot \frac{1}{2} \frac{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}}{\lambda_{0,+} + \lambda_{0,-}} = \frac{1}{2}$$

Für r_D gilt gemäß Gleichung (16): $r_D = \left(\frac{1}{e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2) c} \frac{\epsilon_r^{(SI)} \epsilon_0^{(SI)} k_B T}{e^2 N_A (z_+^2 + z_-^2) c} \right)^{\frac{1}{2}}$

Die verwendeten Konstanten sind

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$, $\eta = 0,001053 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $\epsilon_r^{\text{SI}} = 80,93$
(aus Skript) und $T = 291 \text{ K}$

Damit ergibt sich für KCl:

$$A = 1.613 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{3/2} \text{ A}^2 \text{ s}^3 \text{ mol}^{-3/2} \text{ kg}^{-1}, B = 7.174 \cdot 10^{-3} (\text{mol/m}^3)^{-0.5} \text{ und } r_D = 9.655 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Für gesättigte CaSO_4 -Lösung wird zunächst die Konzentration der Lösung aus dem Löslichkeitsprodukt berechnet. Dieses beträgt für CaSO_4 $K_L(\text{CaSO}_4) = 4.93 \cdot 10^{-5} \text{ mol}^2 \text{ l}^{-2}$ [2]. Da ein 1:1-Elektrolyt vorliegt, gilt $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = \sqrt{(K_L)} = 7,021 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$

Damit ergibt sich für gesättigte CaSO_4 -Lösung:

$$A = 6.454 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{3/2} \text{ A}^2 \text{ s}^3 \text{ mol}^{-3/2} \text{ kg}^{-1}, B = 5.734 \cdot 10^{-2} (\text{mol/m}^3)^{-0.5} \text{ und } r_D = 1.821 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

c) *Berechnung der Konzentration einer ges. Calciumsulfat-Lösung aus der spezifischen Leitfähigkeit*

Gegeben sind die Ionenleitfähigkeiten $\lambda(\text{Ca}^{2+}) = 120 \text{ cm}^2 \text{ Smol}^{-1}$ und $\lambda(\text{SO}_4^{2-}) = 160 \text{ cm}^2 \text{ Smol}^{-1}$.

Mit $\Lambda_0 = \nu_+ \lambda_{0,+} + \nu_- \lambda_{0,-}$ ergibt sich daraus $\Lambda_0 = 280 \text{ cm}^2 \text{ Smol}^{-1}$

Mit Gleichung (7) kann man daraus die Konzentration in nullter Näherung berechnen:

$$c_\infty^0 = \frac{\kappa_\infty}{\Lambda_0} = \frac{2184,9 \mu \text{ S cm}^{-1}}{280 \text{ cm}^2 \text{ Smol}^{-1}} = 7,803 \cdot 10^{-6} \text{ mol cm}^{-3} = 7,803 \cdot 10^{-3} \text{ mol l}^{-1}$$

Für das Kohlrausch-Gesetz wird der Parameter a benötigt, dieser ergibt sich nach $a = (A + B\Lambda_0)$ als
 $a = 6.454 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{3/2} \text{ A}^2 \text{ s}^3 \text{ mol}^{-3/2} \text{ kg}^{-1} + 0,028 \text{ m}^2 \text{ Smol}^{-1} \cdot 5.734 \cdot 10^{-2} (\text{mol/m}^3)^{-0.5} = 2.25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{3/2} \text{ A}^2 \text{ s}^3 \text{ mol}^{-3/2} \text{ kg}^{-1}$
 $\Rightarrow a = 7.122 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ Smol}^{-1} (\text{mol/l})^{-1/2}$

und daraus

$$\Lambda_m(c_\infty^0) = 0,028 \text{ m}^2 \text{ Smol}^{-1} - 7,122 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ Smol}^{-1} (\text{mol/l})^{-1/2} \cdot \sqrt{7,803 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}} = 2,171 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ Smol}^{-1}$$

und damit gilt wieder

$$c_\infty^1 = \frac{\kappa_\infty}{\Lambda_m(c_\infty^0)} = 1.006 \cdot 10^{-2} \text{ mol l}^{-1}$$

Die Abweichung beträgt 22,5%, ist also verschwindend recht groß.

Nach Gleichung (4) und Reihenentwicklung analog wie oben ergibt sich $\frac{c(t)}{c_\infty} \approx kt$, dies gilt für c^0 und

c^1 . Gleichsetzen und nach k^1 auflösen führt zu

$$k_\kappa^1 = k_\kappa \frac{c_\infty^0}{c_\infty^1} = 3,641 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Der Wert für k hat sich also um 29,0% verbessert (war zu groß).

d) *Berechnung der Dicke der adhärierenden Schicht*

Zunächst wird nach Gleichung (18) der Diffusionskoeffizient berechnet:

$$D = 1.783 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

Und nun nach Gleichung (3) die Dicke der adhärierenden Schicht mit $V = 0,15 \text{ l}$ und $O = 2,15 \text{ cm}^2$:

$$\delta = \frac{DO}{V k} = 0,054 \text{ cm}$$

Protokoll

Physikalisch-Chemisches Praktikum für Fortgeschrittene

Fehlerbetrachtung und Diskussion

Fehler können beim Einfüllen der Lösung und durch nicht optimal gereinigte Gefäße entstanden sein. Die Elektrode kann ebenfalls verunreinigt sein, das Wasser enthält noch andere Ionen (dieser Effekt wurde aber bereits korrigiert). Alle Werte sind auch nicht exakt abgelesen. Es wurde weiterhin nicht auf die exakte Konstanz der Temperatur geachtet, allerdings dürfte sie weitestgehend konstant gewesen sein, da der Versuch ohne Heizen und unter kräftigem Rühren durchgeführt wurde. Auffällig ist, dass sich die Konzentration der ges. Lösung durch das im Skript vorgeschlagene Verfahren zur "Verbesserung" im Vergleich zum aus dem Löslichkeitsprodukt berechneten Literaturwert aus [2] deutlich verschlechtert (dazu ist allerdings zu sagen, dass die Angaben zum Löslichkeitsprodukt in verschiedenen Büchern stark voneinander abweichen - in "C. E Mortimer, *Chemie*, 9. Aufl., Thieme, Stuttgart, 2007." ist der Wert $4,7 \cdot 10^{-9}$ angegeben [dort einheitenlos, dem erläuternden Kapitel zum Löslichkeitsprodukt ist aber zu entnehmen, dass es sich um mol/l handeln muss]).

Weitere Literaturwerte wurden wie folgt gefunden (in [1]), wobei sich die Zahlen auf die Ladungszahlen der Ionen beziehen und β den Debye-Radius bezeichnet:

$\beta(1,1;0,1\text{M})=0,96\text{nm}$ - [KCl], dieser Wert stimmt sehr gut mit dem hier berechneten überein
 $\beta(2,2;0,01\text{M})=1,52$ - [CaCO₃], da nicht exakt diese Konzentration sondern eine leicht niedrigere vorliegt, muss der Wert offenbar etwas größer als 1,52 sein. Wenn man mit dem angegebenen Wert den Debye-Radius für die in b) ermittelte Konzentration berechnet (mittels einfachen Dreisatz), so ergibt sich $r_{D,Lit}(c=7,021 \cdot 10^{-3}\text{mol l}^{-1})=1,81\text{nm}$. Auch dieser Wert stimmt mit dem in b) für den Debye-Radius berechneten Wert sehr gut überein.

Weitere brauchbare Literaturwerte (z.B. für $\Lambda_c(2,2)$) wurden in [1] leider nicht gefunden.

Verwendete Literatur

- [1] - G. Wedler, *Lehrbuch der Physikalischen Chemie*, 5. Aufl., Wiley VCH, Weinheim, 2004.
[2] - *Handbook of chemistry and physics* (Hrsg.: D. R. Lide), 88. Aufl., CRC Press, London, New York, 2007.

Hiermit bestätige ich, dass ich das Protokoll eigenständig geschrieben habe.

Karlsruhe, den _____ 2007

Matthias Ernst