

Fakultät für Physik
Technische Universität München

Ausarbeitung
Anfängerpraktikum für Physiker Teil 1

**Dissoziation und
Gefrierpunktniedrigung**

Vincent Stimper, Felix Wechsler

25. Februar 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Bestimmung des Gefrierpunkts von destilliertem Wasser	3
3	Bestimmung des Gefrierpunkts der Salzlösung	4
4	Kalibrierung des Thermometers	5
5	Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung	6
6	Bestimmung der Anzahl der gelösten Teilchen und des Dissoziationsgrads	6
7	Fragen	7
7.1	Elektrolyte	7
7.2	Dampfdruck	7
7.3	Kältebad	7
7.4	Halbleiter	7
8	Zusammenfassung	8

1 Einleitung

Den Gefrierpunkt von Wasser zu bestimmen, hört sich zunächst nach einem einfachen Schulversuch an. In unserem Experiment wurde jedoch der Gefrierpunkt von Wasser durch Zugabe von Natriumnitrat geändert. Der interessante Aspekt ist, dass man anhand der Absenkung des Gefrierpunkts auch den Dissoziationsgrad von Natriumnitrat in Wasser bestimmen kann. Da das vorliegende Thermometer sehr ungenau ist, wurde der Gefrierpunkt mit einem Thermistor bestimmt. In einem weiteren Experimente wurde eine Kalibrationsgerade erstellt um aus den Widerstand die Temperatur herleiten zu können.

2 Bestimmung des Gefrierpunkts von destilliertem Wasser

Wie in der Anleitung beschrieben, wurde ein Reagenzglas mit destilliertem Wasser um dem Thermistor in ein Eisbad von $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ gegeben. Die Anfangstemperatur war nicht bei jeder Kurve gleich, sodass ein zeitliches Offset entsteht. Die Kurve wurde so verschoben, dass die Temperatur zu einem gewissen Zeitpunkt gleich ist. Desweiteren unterscheidet sich die Abbildung 1 von der Abbildung 3 aus der Anleitung darin, dass Widerstand in der Flüssigkeit über die Zeit aufgetragen ist. Die Temperatur ist aber nur eine Skalierung und Spiegelung (verursacht durch den negativen Temperaturkoeffizienten) in der Ordinatenachse. Das Temperaturminimum bzw. Widerstandsmaximum vor dem Gefrieren der Lösung lässt sich im 1. und 2. Versuch gut erkennen.

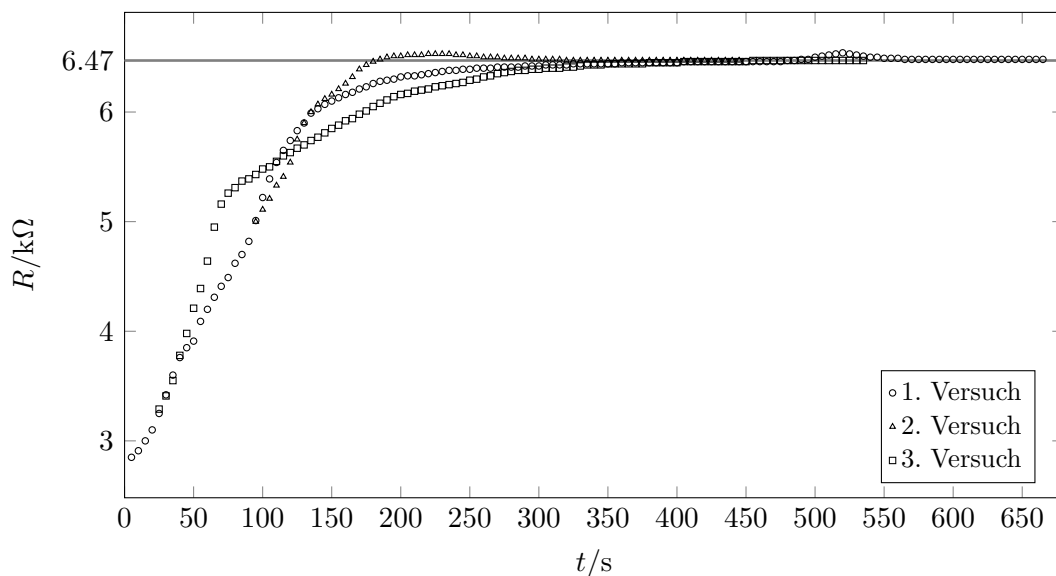


Abbildung 1: Widerstandskurve des Thermistors in destilliertem Wasser

Die teilweise unterschiedlichen Kurve erklären sich durch Temperaturschwankungen im Eisbad und inhomogener Temperaturverteilungen im Reagenzglas. Ab dem Zeitpunkt, wenn sich der Widerstand in der Lösung nicht mehr ändert, gilt die Lösung als gefroren. Zur Verdeutlichung wurde diese konstante Linie eingezeichnet. Für die erste Messung ergab sich ein Wert von $6.48 \text{ k}\Omega$, für die zweite $6.47 \text{ k}\Omega$ und für die dritte $6.47 \text{ k}\Omega$. Der systematische Fehler wird auf die Hälfte der Ablesegenauigkeit gesetzt, also $0.005 \text{ k}\Omega$. Der statistische Fehler wird durch die korrigierte Formel der Standardabweichung des Mittelwerts berechnet.

$$\Delta R_{\bar{x}} = \frac{1.2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{(6.48 \text{ k}\Omega - 6.473 \text{ k}\Omega)^2 + 2(6.47 \text{ k}\Omega - 6.473 \text{ k}\Omega)^2}{2}} = 0.004 \text{ k}\Omega$$

Und der resultierende Fehler aus Standardabweichung und Ablesegenauigkeit ergibt:

$$\Delta R = \sqrt{(0.004 \text{ k}\Omega)^2 + (0.005 \text{ k}\Omega)^2} = 0.006 \text{ k}\Omega$$

Schlussendlich ergibt sich für den Widerstand am Gefrierpunkt $(6.473 \pm 0.006) \text{ k}\Omega$.

3 Bestimmung des Gefrierpunkts der Salzlösung

Erneut wurde eine Lösung, dieses Mal 20.3914 g destilliertes Wasser mit 0.5322 g Natriumchlorid, in das Eisbad gestellt und der Thermistor in das Eisbad gegeben. Der Widerstand wurde alle 5 s aufgeschrieben. Es lässt sich der analog zu Abschnitt 2 der statistische Fehler bestimmen. Es ergibt sich ein Widerstandswert am Gefrierpunkt von $(6.783 \pm 0.006) \text{ k}\Omega$. Die Maximas, kurz vor dem konstanten Bereich von Abbildung 2, lassen sich dieses Mal deutlicher erkennen. Eine homogene Temperaturverteilung wurde durch manuelle Mischen im Reagenzglas erreicht. Die großen Abweichungen lassen sich durch unterschiedliche Temperaturen des Eisbads erklären.

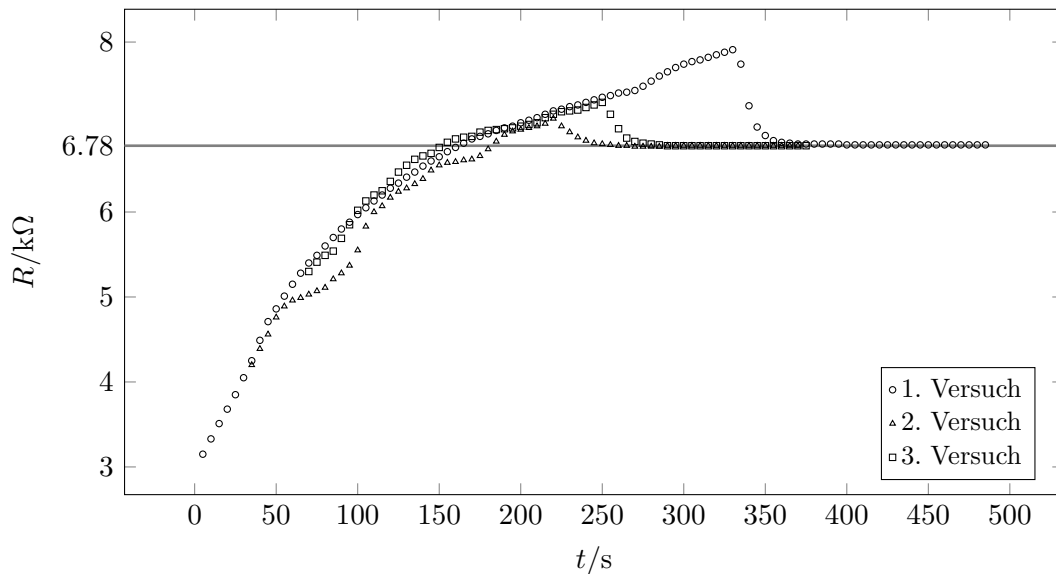


Abbildung 2: Widerstandskurve des Thermistors in der Salzlösung

4 Kalibrierung des Thermometers

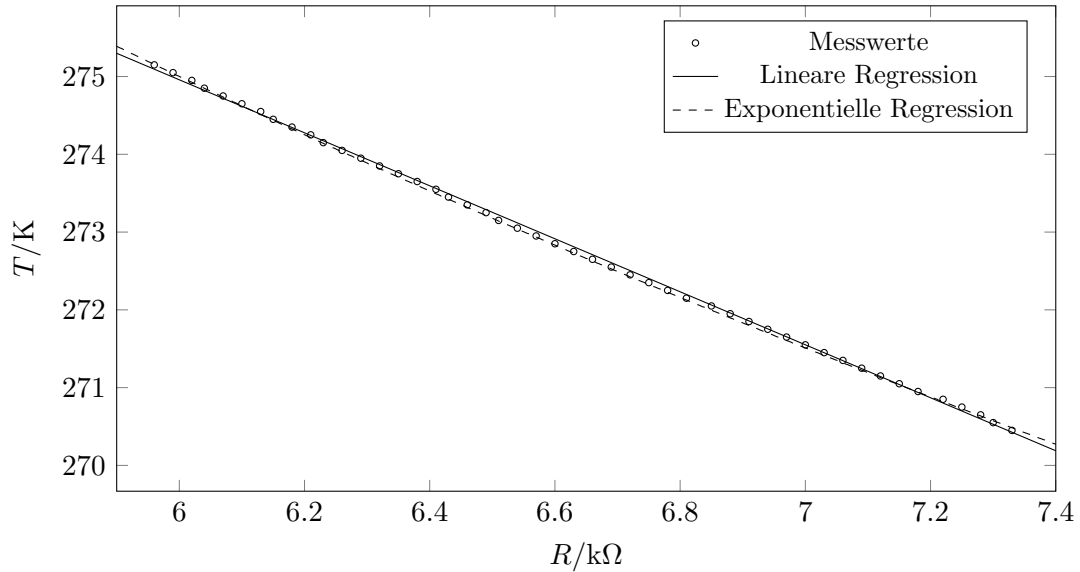


Abbildung 3: Kalibrationskurve

Für den Thermistorwiderstand R in Abhängigkeit der Temperatur T gilt:

$$R(T) = R_0 \exp \left(c_1 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right)$$

Umgeformt erhalten wir:

$$T(R) = \frac{c_1}{\ln(R) + c_2} \quad (1)$$

Dabei sind c_1 und c_2 Konstanten. Man kann die Funktion Taylorentwickeln zum Beispiel am Punkt $T = 0^\circ\text{C}$, womit man

$$T(R) = aR + b \quad (2)$$

erhält. Wieder sind a und b Konstanten.

Misst man nun die Temperatur einer Salz-Wasser-Mischung mit einem Thermometer und gleichzeitig den Widerstand des Thermistors in dieser Mischung, kann man eine Kalibrierung vornehmen. In Abbildung 3 sind die Messwerte gegeneinander aufgetragen. Es wurden Regressionen mit (1) und (2) durchgeführt. Für beide Fits wurde die *Curve Fitting Toolbox* des Numerikprogramms Matlab verwendet, welche die Fitparameter inklusive statistischer Fehler ausgibt.

Auch wenn man in Abbildung 3 deutlich erkennen kann, dass der Fit mit (1) den Verlauf der Datenpunkte wesentlich besser widerspiegelt, stellt auch die lineare Regression eine sehr gute Näherung der Werte dar.

Die erhaltenen Parameter betragen mit Unsicherheit $a = (-3.407 \pm 0.028) \text{ K k}\Omega^{-1}$ sowie $b = (295.4 \pm 0.2) \text{ K}$.

5 Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung

Weil in guter Näherung $T = aR + b$ gilt, können wir $\Delta T_G = a(R_{G2} - R_{G1}) = a\Delta R_G$ folgern. Für destilliertes Wasser gilt $R_{G1} = 6.4733 \text{ k}\Omega$ und für den statistischen Fehler $\Delta R_{st1} = 0.0033 \text{ k}\Omega$. Für die Natriumnitrat wurde $R_{G2} = 6.7833 \text{ k}\Omega$ und $\Delta R_{st2} = 0.0033 \text{ k}\Omega$ gemessen. Für den systematischen Fehler der Messungen gilt $\Delta R_{sys} = 0.005 \text{ k}\Omega$. Für den Gesamtfehler folgt für beide Werte mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_{st}^2 + \Delta R_{sys}^2} \approx 0.0060 \text{ k}\Omega$$

Somit ergibt sich mit $a = (-3.407 \pm 0.028) \text{ K k}\Omega^{-1}$ für die Temperaturdifferenz:

$$\Delta T_G = a(R_{G2} - R_{G1}) = (-1.0562 \pm 0.0088) \text{ K}$$

Der Gefrierpunkt ist folglich um etwa 1 K abgesunken, was typisch ist für die Zugabe von Salz in destilliertes Wasser.

6 Bestimmung der Anzahl der gelösten Teilchen und des Dissoziationsgrads

Durch die Anleitung ist gegeben:

$$n_2 = \frac{n_1}{\frac{RT_{G1}^2}{|\Delta T_G| M_1 \sigma_1} - 1} \quad (3)$$

Der Wert für ΔT_G wurde bereits bestimmt. Die Größen T_{G1} , M_1 und σ_1 sind durch die Anleitung gegeben. Der Wert von n_1 kann über die gewogene Masse des Wassers $m_1 = (20.3914 \pm 0.0005) \text{ g}$ bestimmt werden. Somit ergibt sich:

$$n'_2 = \frac{\frac{m_1}{M_1}}{\frac{RT_{G1}^2}{|\Delta T_G| M_1 \sigma_1} - 1} = (0.01171 \pm 0.00010) \text{ mol} = (7.051 \pm 0.060) \cdot 10^{23} \text{ Teilchen}$$

Dabei wurde der Fehler mit

$$\Delta n'_2 \approx n'_2 \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta T_G)}{\Delta T_G}\right)^2}$$

bestimmt. Da für die Masse des Natriumnitrats $m_2 = (0.5322 \pm 0.0005) \text{ g}$ gemessen wurde und die molare Masse $M_2 = 84.99 \text{ g mol}^{-1}$ beträgt¹, kann man nun die Dissoziationsgrad α bestimmen. Man erhält

$$\alpha = \frac{\frac{n'_2 M_2}{m_2} - 1}{z - 1} = (87.00 \pm 0.75) \%$$

¹Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Natriumnitrat> (25. Februar 2016)

mit $z = 2$ und

$$\Delta\alpha = \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n'_2}{n'_2}\right)^2}.$$

Da für dieses Ergebnis $0 < \alpha < 1$ gilt, ist es realistisch.

7 Fragen

7.1 Elektrolyte

Ideale Flüssigkeiten haben keinerlei Wechselwirkungen zwischen den Molekülen (Coulombkraft, ...). Da jedoch immer Wechselwirkungen zwischen Molekülen auftreten, weil die Coulombkraft mit r^2 abnimmt und deswegen niemals 0 wird, wird nie eine ideale Lösung erreicht werden.

7.2 Dampfdruck

Als Dampfdruck wird der Druck definiert, in dem ein Stoff sowohl flüssig als auch gasförmig vorliegt (Dampf). Da eine Salzlösung zusätzliche Ionen in das Lösungsmittel gibt, so erhöhen sich die intermolekularen Kräfte im Gemisch. Deswegen kann der Druck von außen geringer sein, weil die zwischenmolekularen Kräfte zusätzlich das Gemisch zusammenhalten. Folglich sinkt der Dampfdruck.

7.3 Kältebad

Das Viehsalz senkt den Schmelzpunkt des Eises unter dessen aktuelle Temperatur. Darum fängt es an zu schmelzen. Um dies jedoch zu tun, muss es die Schmelzwärme aufnehmen, die es seiner Umgebung entzieht. Da die umgebenden Stoffe hauptsächlich das Gemisch selbst sind, kühlt es sich ab, um die Schmelzwärme bereitzustellen. Für das Kältebad kann jedes Salz verwendet werden, was den Schmelzpunkt des Eises hinreichend weit absenkt.

7.4 Halbleiter

Bei einem Halbleiter werden die Elektronen durch Erhöhung der Temperatur in das Leitungsband befördert, wodurch die Leitfähigkeit steigt und der Widerstand sinkt. Bei einem ohmschen Widerstand sind die Elektronen bereits im Leitungsband enthalten. Eine Temperaturerhöhung ändert nichts an deren Anzahl. Jedoch bewegen sich die Metallatome stärker, weswegen die Elektronen öfter mit ihnen zusammenstoßen, was den Widerstand erhöht. Allerdings ist der Effekt wesentlich geringer als die Senkung des Widerstands eines Halbleiters.

8 Zusammenfassung

In dieser Ausarbeitung zu dem Praktikumsversuch Dissoziation und Gefrierpunktniedrigung wurde die Schmelztemperatur von destilliertem Wasser und einer Natriumnitratlösung mithilfe eines Thermistors bestimmt. Daraus wurde der Dissoziationsgrad errechnet. Es wurde eine Fehlerrechnung durchgeführt und alle Ergebnisse kritisch diskutiert.