

Online-Supplement

Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen

**Online-Supplement:
Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung
des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen**

Tobias Allmers^{1,*}, Gabriele Beyer-Sehlmeyer²,
Fabian Schumacher³ & Matthias Wilde³

¹ Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne

² Marienschule der Ursulinen, Bielefeld

³ Universität Bielefeld

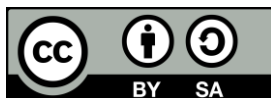
* Kontakt: Kreisgymnasium St. Ursula Haselünne,
Klosterstr. 1, 49740 Haselünne
tobias.allmers@kgsuhaseluenne.de

Zitationshinweis:

Allmers, T., Beyer-Sehlmeyer, G., Schumacher, F., & Wilde, M. (2020). Ionenwanderungen in Kochsalzlösungen: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen [Materialien für ein Schülerexperiment zur Bestimmung des elektrischen Leitwerts von Kochsalzlösungen]. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 80–96. <https://doi.org/10.4119/pflb-3306>

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).
URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>

Inhalt

Material 1: Entscheidungstabelle für das Experiment: Leitfähigkeit

Material 2: Leitfähigkeit von Salzlösungen – Vorversuch

Material 3: Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen

Material 4: Hinweise zur Auswertung

Material 5: Salzkonzentrationen in verschiedenen Meeren und Binnenseen

Entscheidungstabelle für das Experiment: Leitfähigkeit

(zusammengestellt und ergänzt nach Watson & Wood-Robinson, 1998, und Wellington & Ireson, 2008)

Entscheidung	Was muss entschieden werden?	Wer entscheidet? (L / L & S / S)
Fragestellung	Fragestellung 1: Welchen Einfluss hat die Salzkonzentration auf die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen? Fragestellung 2: Welchen Einfluss hat die Temperatur einer Salzlösung auf die elektrische Leitfähigkeit?	L & S
Hypothese	Hypothese 1: Bei einer Erhöhung der Salzkonzentration erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen in dem Maße, wie sich die Konzentration der Lösung erhöht. Hypothese 2: Bei einer Erhöhung der Temperatur der Lösung erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen.	L & S
Begründung	Begründung 1: Durch die Zugabe von Salz erhöht sich die Konzentration an freien Ladungsträgern. Begründung 2: Durch die Temperaturerhöhung erhöht sich die Geschwindigkeit der Ladungsträger aufgrund der gesunkenen Viskosität des Lösungsmittels.	L & S
Untersuchungskonzept (Methodisches Konzept)	Bestimmung des Leitwerts als Maß für die Leitfähigkeit für Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration bzw. Temperatur und Vergleich mit Idealisierungen aus der Modellvorstellung zum Mechanismus des Ladungstransportes	L & S
Konkrete Durchführung	Messen von Stromstärke und Spannung beim Ladungstransport durch Kochsalzlösungen unterschiedlicher Konzentration bzw. unterschiedlicher Temperatur	L & S
Anzahl der Wiederholungen	Experiment 1: zwei Wiederholungen pro Lösung Experiment 2: zwei Wiederholungen pro Temperatur	S
Unabhängige Variable	Experiment 1: NaCl-Konzentration Experiment 2: Temperatur der NaCl-Lösung ($c=0,35$ mol/L)	S
Untersuchungsspektrum	Experiment 1: NaCl-Konzentration 0 bis 0,70 mol/L Experiment 2: Temperatur von 45 °C bis 70 °C	S
Anzahl der Intervalle	Experiment 1: sieben verschiedene Konzentrationen	L & S
	Experiment 1: drei unbekannte Proben	L
	Experiment 2: sechs verschiedene Temperaturen	L & S
Abstand der Intervalle	Experiment 1: $c_1=0,0$ mol/L; $c_2=0,05$ mol/L; $c_3=0,10$ mol/L; $c_4=0,20$ mol/L; $c_5=0,35$ mol/L; $c_6=0,50$ mol/L; $c_7=0,70$ mol/L	L & S
	Experiment 1: $c_A=3,49$ mol/L; $c_B=4,36$ mol/L; $c_C=2,68$ mol/L	L
	Experiment 2: $T_1=45$ °C; $T_2=50$ °C; $T_3=55$ °C; $T_4=60$ °C; $T_5=65$ °C; $T_6=70$ °C	L & S
Abhängige Variable	Leitwert G	L & S
Messung der abhängigen Variable	Messung der Stromstärke I und der Spannung U	S

Entscheidung	Was muss entschieden werden?	Wer entscheidet? (L / L & S / S)
Weitere relevante Randbedingungen	Allgemein: Festhalten der Geometrie des Experiments (Abstand und Eintauchtiefe der Elektroden), Einhalten eines Spannungsbereichs (etwa 3 bis 10 Volt) Experiment 1: konstante Temperatur Experiment 2: konstante Konzentration	L & S
Kontrolle der Randbedingungen	Die relevanten Randbedingungen müssen in allen experimentellen Aufbauten gleich sein. Abstand: äußere Rillen im elektrolytischen Trog Eintauchtiefe: Verwendung eines Flüssigkeitsvolumens von $1,00 \cdot 10^2$ mL Spannung: Verwendung einer Spannung von etwa 5,0 V Temperatur: gleicher Lagerort der Lösungen Konzentration: Ausgabe der erhitzten Lösung durch L	L & S
Analyse der Daten	Berechnung von Mittelwert und Standardfehler der Leitwerte für die unterschiedlichen Konzentrationen bzw. Temperaturen mit den gesamten Daten aus dem Kurs Experiment 1: Bestimmung der Regressionsgeraden über eine Regressionsrechnung Berechnung des Korrelationskoeffizienten Anwenden einer Kalibrierkurve Experiment 2: Einzeichnen einer ausgleichenden Kurve; Vergleich mit inverser Viskosität	S
Darstellung der Daten	Experiment 1: Leitwert in Abhängigkeit von der Konzentration (Liniendiagramm) Experiment 2: Leitwert in Abhängigkeit von der Temperatur (Liniendiagramm); inverse Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur (Liniendiagramm)	S
Prüfung der Hypothese(n)	Die Hypothese 1 kann bestätigt werden. Eine Erhöhung der Salzkonzentration führt zu einer Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit der Lösungen, da sich die Anzahl der freien Ladungsträger erhöht. Die Hypothese 2 kann bestätigt werden. Bei einer Erhöhung der Temperatur der Lösung erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen, da die Viskosität der Lösung abnimmt und dadurch die Endgeschwindigkeit der Ionen im elektrischen Feld der Elektroden zunimmt.	S

Quellen:

Wellington, J., & Ireson, G. (2008). *Science Learning, Science Teaching*. London: Routledge.

Watson, R., & Wood-Robinson, V. (1998). Learning to Investigate. In M. Rattcliffe (Hrsg.) (1998): *ASE Guide to Secondary Science Education* (S. 84–91). Cheltenham, UK: Stanley Thornes Publ. LTD.

Leitfähigkeit von Salzlösungen – Vorversuch

Abhängigkeit der Glühlampenleuchtstärke vom Abstand der Elektroden

Versuchsaufbau:

Realisiert den nebenstehenden Versuchsaufbau, indem ihr ein hohes Becherglas mit einem Volumen von 150 mL bis zur Hälfte mit einer Kochsalzlösung der Konzentration von 0,35 mol/L füllt.

Baut den Stromkreis wie in der Skizze auf.

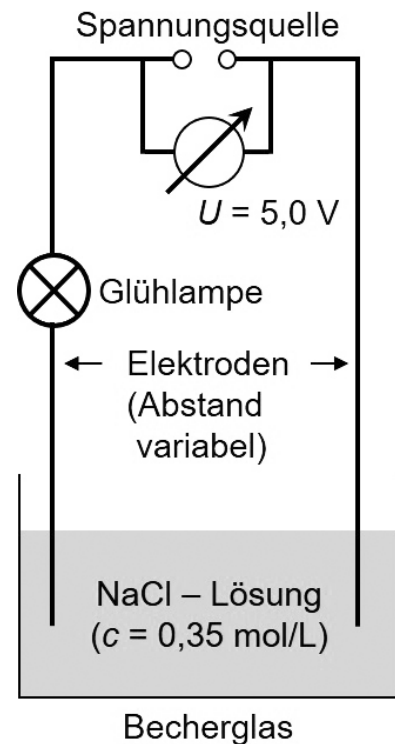
Die Eintauchtiefe der Elektroden soll in diesem Versuch gleichbleiben. Der Abstand der Elektroden soll variiert werden können.

Durchführung:

Schaltet die Spannungsquelle an und stellt diese so ein, dass eine Spannung von 5 V auf dem Voltmeter angezeigt wird. Verändert den Abstand der Elektroden zueinander und beobachtet dabei die Änderung der Leuchtstärke der Glühlampe.

Achtung: Je nach Aufbau kann es erforderlich sein, dass für die Änderung des Elektrodenabstands die Spannungsquelle zur Sicherheit ausgeschaltet werden muss.

- Haltet eure Ergebnisse in einem „Je mehr ... desto ...“-Satz fest.
- Formuliert eine mögliche Erklärung für die Beobachtungen und haltet diese fest.



Leitfähigkeit von Salzlösungen – Vorversuch

Abhängigkeit der Glühlampenleuchtstärke von der Eintauchtiefe der Elektroden

Versuchsaufbau:

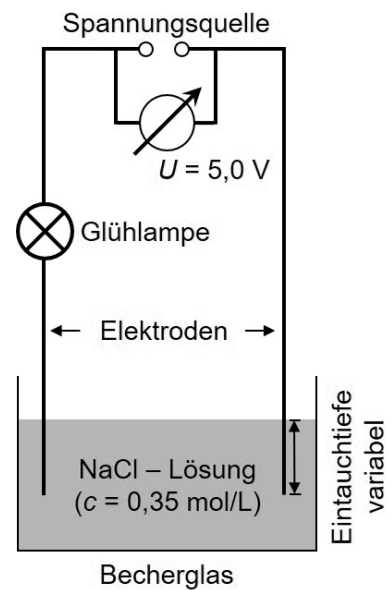
Realisiert den nebenstehenden Versuchsaufbau, indem ihr ein hohes Becherglas mit einem Volumen von 150 mL bis zur Hälfte mit einer Kochsalzlösung der Konzentration von 0,35 mol/L füllt.

Baut den Stromkreis wie in der Skizze auf.

Der Abstand der Elektroden soll in diesem Versuch gleichbleiben. Die Eintauchtiefe der Elektroden soll variiert werden können.

Durchführung:

Schaltet die Spannungsquelle an und stellt diese so ein, dass eine Spannung von 5 V auf dem Voltmeter angezeigt wird. Verändert die Eintauchtiefe der Elektroden und beobachtet dabei die Änderung der Leuchtstärke der Glühlampe.



Achtung: Je nach Aufbau kann es erforderlich sein, dass für die Ändern der Eintauchtiefe der Elektroden die Spannungsquelle zur Sicherheit ausgeschaltet werden muss.

- Haltet eure Ergebnisse in einem „Je mehr ... desto ...“-Satz fest.
- Formuliert eine mögliche Erklärung für die Beobachtungen und haltet diese fest.

Leitfähigkeit von Salzlösungen – Vorversuch

Abhängigkeit der Glühlampenleuchtstärke von der angelegten Spannung

Versuchsaufbau:

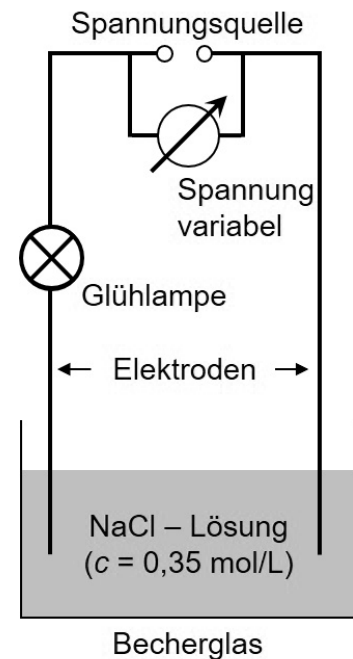
Realisiert den nebenstehenden Versuchsaufbau, indem ihr ein hohes Becherglas mit einem Volumen von 150 mL bis zur Hälfte mit einer Kochsalzlösung der Konzentration von 0,35 mol/L füllt. Baut den Stromkreis wie in der Skizze auf.

Abstand und Eintauchtiefe der Elektroden sollen in diesem Versuch gleichbleiben. Die an die Elektroden angelegte Spannung soll variiert werden.

Durchführung:

Schaltet die Spannungsquelle an und variiert die angelegte Spannung in einem Bereich von 0 V bis 15 V. Beobachtet dabei die Änderung der Leuchtstärke der Glühlampe.

- Haltet eure Ergebnisse in einem „Je mehr ... desto ...“-Satz fest.
- Formuliert eine mögliche Erklärung für die Beobachtungen und haltet diese fest.



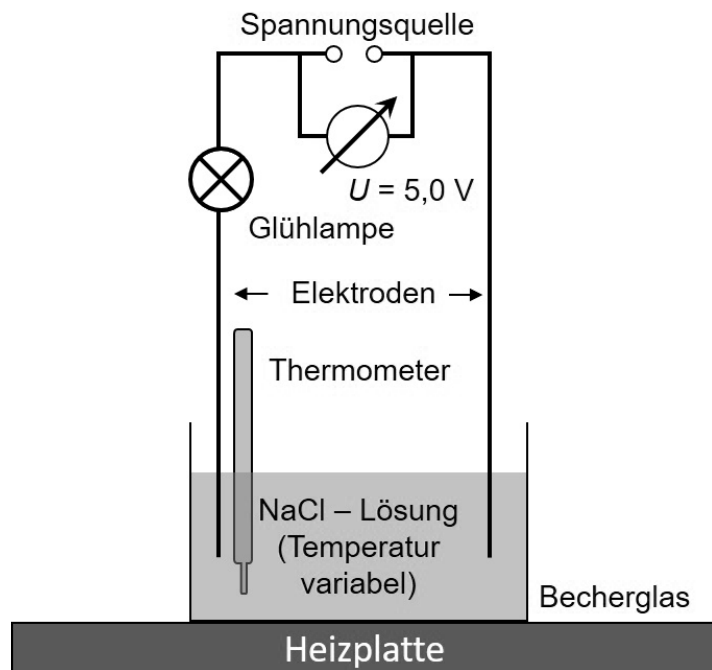
Leitfähigkeit von Salzlösungen – Vorversuch

Abhängigkeit der Glühlampenleuchtstärke von der Temperatur der Lösung

Versuchsaufbau:

Realisiert den nebenstehenden Versuchsaufbau, indem ihr ein hohes Becherglas mit einem Volumen von 150 mL bis zur Hälfte mit einer Kochsalzlösung der Konzentration von 0,35 mol/L füllt und dieses auf die bereitgestellte Heizplatte stellt. Zur Temperaturmessung wird ein Thermometer in die Lösung eingetaucht, ohne dass dieses den Boden des Becherglases berühren darf. Baut den Stromkreis wie in der Skizze auf.

Abstand und Eintauchtiefe der Elektroden sollen in diesem Versuch gleichbleiben. Nur die Temperatur der Lösung soll geändert werden.



Durchführung:

Schaltet die Spannungsquelle an und stellt diese so ein, dass eine Spannung von 5 V auf dem Voltmeter angezeigt wird. Verändert die Temperatur der Lösung, indem ihr diese mit der Heizplatte erwärmt. Hinweis: Da das Erwärmen der Lösung recht lange dauert, schaltet die Spannungsquelle nur ein, wenn die gewünschte Temperatur erreicht ist, und vergleicht die jeweiligen Leuchtstärken der Glühlampe. Haltet eure Beobachtungen mit Angabe der Temperaturen jeweils fest.

- Haltet eure Ergebnisse in einem „Je mehr ... desto ...“-Satz fest.
- Formuliert eine mögliche Erklärung für die Beobachtungen und haltet diese fest.

Leitfähigkeit von Kochsalzlösungen

Ergebnisse aus dem Vorversuch

In einem Vorversuch haben wir festgestellt, dass destilliertes Wasser den elektrischen Strom schlecht leitet. Als Anzeigegerät wurde einer Glühlampe verwendet. Auch leitet Kochsalz im festen Zustand den elektrischen Strom nicht. Gibt man aber etwas Salz in das Wasser und lässt es sich auflösen, so erhöht sich die Leitfähigkeit der wässrigen Lösung und die Lampe leuchtet. Die Leitfähigkeit erhöht sich zudem weiter, wenn mehr Kochsalz in Wasser gelöst wird. Ferner zeigt sich ein Anstieg in der Leitfähigkeit bei steigender Temperatur der Kochsalzlösung.

Aus dem Vorversuch lassen sich damit die Hypothesen „Bei einer Erhöhung der Salzkonzentration erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen in dem Maße, wie sich die Konzentration der Lösung erhöht“ bzw. „Bei einer Erhöhung der Temperatur der Lösung erhöht sich die elektrische Leitfähigkeit der Lösungen“ ableiten. Über die Vorüberlegungen lassen sich diese zudem über „Durch die Zugabe von Salz erhöht sich die Konzentration an freien Ladungsträgern“ bzw. „Durch die Temperaturerhöhung erhöht sich die Geschwindigkeit der Ladungsträger aufgrund der gesunkenen Viskosität des Lösungsmittels“ begründen.

Ziele und experimentelle Realisierung

Dieses Experiment untersucht den qualitativen Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit einer Kochsalzlösung in Abhängigkeit von der Konzentration und Temperatur der Lösung. Als Maß für die Leitfähigkeit benutzen wir den Leitwert G , der sich über die gemessene Stromstärke I und der angelegten Spannung U ergibt. Es gilt

$$G = \frac{I}{U}$$

Die Einheit des Leitwerts ist

$$[G] = 1 \frac{[I]}{[U]} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}} = 1 \Omega^{-1} = 1 \text{S (Siemens)}.$$

Die Stromstärke wird mithilfe eines Amperemeters in Reihe gemessen, während die Spannung mit Hilfe eines Voltmeters parallel am Ausgang der Spannungsquelle erfasst wird. Eine schematische Darstellung des Messaufbaus ist in der nebenstehenden Abbildung gezeigt.

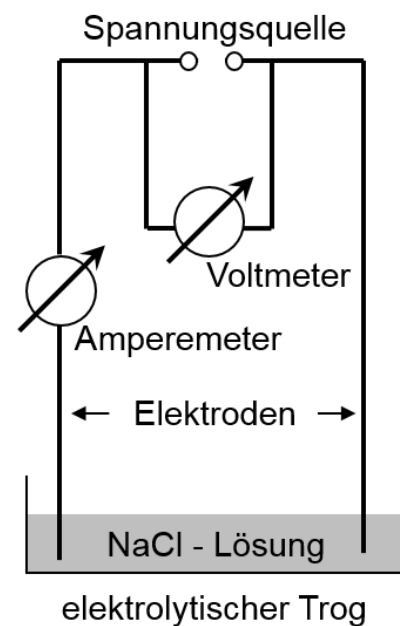


Abbildung 1: Schematische Darstellung der experimentellen Realisierung.

Abhängigkeit des Leitwerts von der Konzentration der Kochsalzlösung

Untersucht werden soll die Änderung des Leitwerts in Abhängigkeit der Konzentration einer Kochsalzlösung. Mithilfe des gefundenen Zusammenhangs soll ferner die Konzentration von drei unbekanntenen Proben bestimmt werden, um sie anschließend einem Gewässer zuzuordnen.

Experimentelle Aufgaben:

Baue die Schaltung aus Abbildung 1 auf. Um ungewollte Effekte zu vermeiden, muss der Abstand der Elektroden für die Messungen konstant gehalten werden. Darüber hinaus wird stets die gleiche Flüssigkeitsmenge von $1,00 \cdot 10^2$ mL eingefüllt, damit die Elektroden immer gleich tief in die Lösung eintauchen.

Die Spannung der Versorgung soll während der Versuchsdurchführung möglichst konstant 5,0 Volt betragen. Da eine konstante Spannung bei unserer Versuchsanordnung nur schwer zu realisieren ist, messen wir den Wert der Spannung mithilfe eines Voltmeters, das parallel zu der Spannungsversorgung angeschlossen wird, und nehmen diesen Wert mit auf.

Durchführung:

- Führt jeweils eine Messung für jede bekannte Konzentration durch und notiert die Werte für Strom und Spannung. Der Stromfluss soll dabei nur für die Messung hergestellt werden, um die Produktion von Chlorgas zu minimieren.
- Nach der Messung an einer Konzentration muss die verwendete Lösung durch den Ausguss entsorgt werden.
- Die Elektroden und der elektrolytische Trog werden vor dem Einsatz der neuen Lösung abgespült und zusätzlich mit destilliertem Wasser gereinigt.

Nach Aufnahme der Daten für die bekannten Konzentrationen werden die unbekanntenen Proben auf die gleiche Weise charakterisiert. Allerdings ist die Konzentration zu reduzieren, indem nur 10,0 mL von der unbekanntenen Probe vermischt mit 90,0 mL destilliertem Wasser in den elektrolytischen Trog gegeben werden.

- Führt die Messung an den drei unbekanntenen Proben wie zuvor für die bekannten Konzentrationen durch.

Abhängigkeit des Leitwerts von der Temperatur der Kochsalzlösung

Untersucht werden soll, wie der Leitwert G von der Temperatur einer Kochsalzlösung abhängt. Hierfür wird die Kochsalzlösung mit einer Konzentration von 0,35 mol/L verwendet. Für die Messung muss der Versuchsaufbau aus dem ersten Teil des Experiments um ein Thermometer erweitert werden, das von einem Stativ gehalten in den elektrolytischen Trog eintaucht, den Boden aber nicht berührt. Wieder wird eine Spannung von 5,0 V an der Spannungsquelle eingestellt; der Wert für die tatsächlich anliegende Spannung wird zusätzlich für jede Messung notiert.

Durchführung:

- Gebt $1,00 \cdot 10^2$ mL der erhitzten Lösung möglichst rasch in den elektrolytischen Trog.
- Messt die Stromstärke und die Spannung in Abhängigkeit von der Temperatur, indem ihr während des Abkühlens für die Temperaturen 70 °C bis 45 °C Werte in Abständen von 5 °C aufnehmt.
- Nach Abschluss der Messungen wird die verwendete Lösung durch den Ausguss entsorgt.

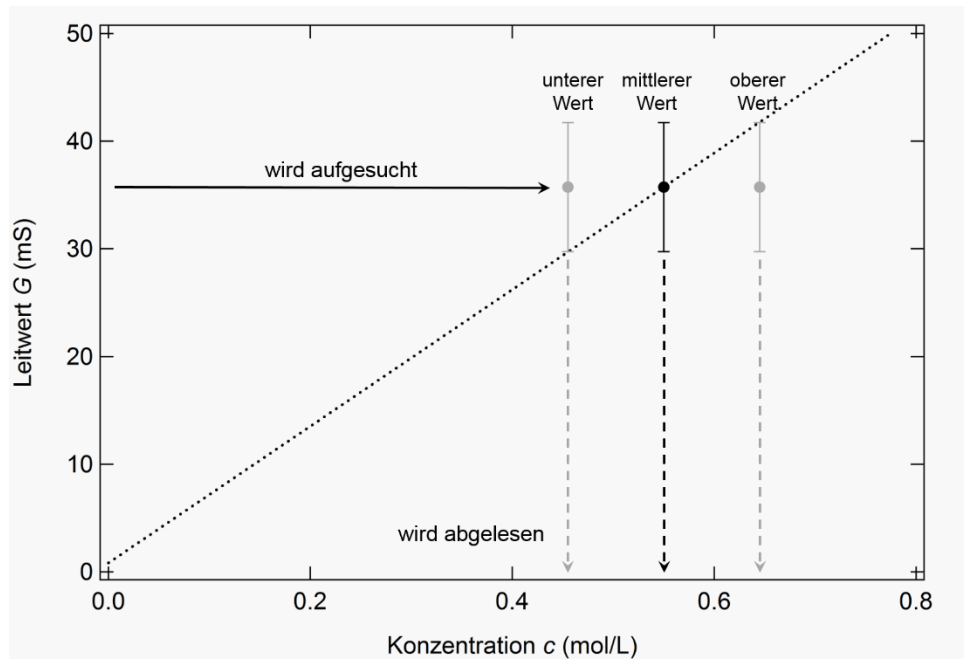
Hinweise zur Auswertung

Abhängigkeit von der Konzentration und Bestimmung der unbekanntem Konzentration

- Berechne den Leitwert G für die verschiedenen Konzentrationen der Kochsalzlösung und trage diese Werte in die im Kursraum bereitgestellte Tabelle ein. Wiederhole dies auch für die Daten der unbekanntem Konzentrationen.
- Berechne aus den Daten der Kursgruppe die Mittelwerte und den Standardfehler für die Leitwerte in Abhängigkeit von der Konzentration. Wiederhole dies auch für die Daten der unbekanntem Konzentrationen.
- Stelle die Daten der Leitwerte in Abhängigkeit von der Konzentration in einem Diagramm dar (Mittelwerte und Standardfehler). Bestimme mithilfe der Regressionsrechnung die Ausgleichsgerade, die den Verlauf der Daten am besten beschreibt, und zeichne die Ausgleichsgerade in dein Diagramm ein.
- Gib mithilfe des Korrelationskoeffizienten an, wie stark der von dir ermittelte lineare Zusammenhang ist.

Die im Diagramm ermittelte Abhängigkeit des Leitwerts von der Konzentration lässt die Bestimmung der Konzentration unbekannter Proben über den Leitwert zu.

- Bestimme die Konzentration der unbekanntem Proben, indem du im Graph den Punkt auf der Ausgleichsgerade aufsuchst, der als eine Koordinate den Mittelwert des ermittelten Leitwerts enthält. Die zugehörige Konzentration lässt sich anhand einer Linie durch diesen Punkt parallel zu der Hochachse bestimmen. Die Unsicherheit der Konzentrationsbestimmung lässt sich erfassen, indem der zuvor durch den Mittelwert bestimmte Punkt soweit parallel zur Rechtsachse verschoben wird, dass die Fehlerbalken gerade noch die Ausgleichsgerade in einem Punkt berühren. Dadurch gelingt die Bestimmung der minimalen und maximalen Konzentration, die mit dem Standardfehler des Leitwerts gerade noch verträglich ist. Die Vorgehensweise ist in der nachstehenden Abbildung illustriert.
- Beachte bei der Zuordnung der Proben zu den Gewässern, dass die Konzentration der untersuchten Lösung um den Faktor 10 verdünnt wurde.
- Wie sicher kannst du dir bei der Zuordnung der Proben zu einem Gewässer aufgrund der Unsicherheit in der Konzentrationsbestimmung sein? Kennst du ein Verfahren zur Abschätzung? Führe dieses gegebenenfalls durch.



Abhängigkeit von der Temperatur

- Berechne den Leitwert G für die verschiedenen Temperaturen der Kochsalzlösung und trage diese Werte in die im Kursraum bereitgestellte Tabelle ein.
- Berechne aus den Daten der Kursgruppe die Mittelwerte und den Standardfehler für die Leitwerte in Abhängigkeit von der Temperatur.
- Stelle die Daten der Leitwerte in Abhängigkeit von der Temperatur in einem Diagramm dar (Mittelwerte und Standardfehler). Durch welche ausgleichende Kurve kann der Verlauf der Daten am besten beschrieben werden?
- Vergleiche den Verlauf der ausgleichenden Kurve mit dem Verlauf der Daten für den Kehrwert der Viskosität von Wasser (Daten für die Viskosität unter <http://www.uni-magdeburg.de/isut/LSS/Lehre/Arbeitsheft/IV.pdf>), indem du auf der rechten Seite eine Hochachse für die inverse Viskosität einzeichnest und die Werte in das Diagramm einträgst.

Die Proben unbekannter Konzentrationen wurden verschiedenen Meeren und Binnenseen nachempfunden. Die nachstehende Auflistung enthält mögliche Kandidaten mit der jeweiligen Konzentrationsangabe in Klammern. Aus dieser Liste wurden einige Konzentrationen zur Bestimmung ausgewählt.

Meere: Gotlandsee (Ostsee) (0,14 mol/L)
 Nordsee (0,60 mol/L)
 Mittelmeer (0,63 mol/L)
 Rotes Meer (Arabische Halbinsel) (0,74 mol/L)

Binnenseen: Kaspisches Meer (West-Asien) (0,22 mol/L)
 Vansee (Türkei) (0,40 mol/L)
 Mono Lake (Kalifornien) (1,31 mol/L)
 Qarun-See (Ägypten) (1,95 mol/L)
 Großer Salzsee (Utah) (2,68 mol/L)
 Urmiasee (Iran) (3,49 mol/L)
 Totes Meer (4,36 mol/L)