

## Wichtige Vorinformation an die Lehrperson

Die hier verwendete Unterrichtsmethode „*Gelenktes Entdeckendes Lernen*“ beinhaltet eine schriftliche *Lenkung* (Unterlagen der Schüler/innen: **0 - ERKLÄRUNGEN** – Entdecken Sie die Leitfähigkeit).

Das *Informationsangebot* liegt inklusive *Lenkung* für die Lernenden als PDF und Worddokument vor. Es wird den Lernenden vollständig ausgehändigt. Daneben gibt es **keine** weiteren Hilfsmittel.

Die Lehrperson ist angehalten, sich möglichst **vollständig** aus dem Unterricht herauszuhalten. Sie beantwortet **keinerlei Fragen zum Stoff** und beschäftigt sich während der ganzen Zeit mit anderweitigen Dingen. Lediglich aus *Sicherheitsgründen* ist die Lehrperson zugegen und kann im Falle eines Unfalls helfend eingreifen.

Es findet im Nachgang des Entdeckenden Lernens kein Nachbessern dessen statt, was die Lernenden herausgefunden haben.

*Es ist von Vorteil, wenn die Lehrperson **genügend Ersatzteile** und **Reservegeräte** bereithält! Dies für den Fall, dass ein Leitfähigkeitsmessgerät oder Multimeter aussteigen sollte.*

## A. Erforderliches Vorwissen

### *Ionenwanderung*

Die Lernenden haben das Experiment zur *Wanderung* von  $\text{MnO}_4^-$ -Ionen im elektrischen Feld gesehen und behandelt (Försterling 1985, 254-255). Hierzu wurde zum Vergleich der reinen Diffusion von  $\text{MnO}_4^-$  in Wasser und deren Ionenbeweglichkeit im elektrischen Feld durchgeführt. Sie haben verstanden, dass die Ionen in einem elektrischen Feld wandern.

### *Grundbegriffe der Elektrostatik und der Stromlehre (Theoriestunden)*

Die Grundbegriffe der Elektrostatik und der Stromlehre wie **elektrisches Feld, Spannung, Stromstärke, Widerstand, Wechselstrom** sollten bekannt sein (ev. repetieren).

### *Leitfähigkeit einer Salzlösung*

Die Lernenden wissen, dass man die Leitfähigkeit einer  $0,10 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  Natriumchloridlösung mit einer Flachbatterie als Spannungsquelle und einer Glühbirne in Serie geschaltet nachweisen kann. Sie wissen, dass Salzlösungen den Strom leiten.

### *Leitfähigkeit einer $0,100 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ KCl-Lösung (Praktikum)*

Ebenfalls haben die Lernenden schon erste Erfahrungen mit dem Bedienen des selbstgebauten Leitfähigkeitsmessgerätes gemacht. Dabei haben die Lernenden den Widerstand in ( $\Omega$ ) einer  $0,100 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  KCl-Lösung bestimmt. Anhand des Tabellenwerts für die **spezifische Leitfähigkeit  $\kappa$**  in ( $\text{mS}/\text{cm}$ ) dieser KCl-Lösung haben die Lernenden unter Anleitung die **Zellkonstante  $C$**  der Messzelle in ( $\text{cm}^{-1}$ ) ermittelt. Die Lernenden wurden mit den Umrechnungen und den dazugehörigen Messgrößen und Einheiten vertraut gemacht.

### *Weitere praktische Fertigkeiten im Labor*

Die Lernenden sind mit dem Umgang gefährlicher Chemikalien vertraut. Sie bringen bereits eine mehrjährige Laborpraxis mit. Sie kennen die gängigen Sicherheitsvorschriften für das

Arbeiten im chemischen Labor. Sie sind auch mit der Bedeutung der üblichen **Gefahrensymbole** vertraut und wissen, wie sie sich schützen können. Die Lernenden sind mit den Regeln der Stöchiometrie und dem Herstellen von Lösungen (molare Größen) vertraut. Die Lernenden sind mit Säure/Base-Titrationen und der Anwendung von  $pK_s$ -Tabellen (pH-Berechnungen, etc.) ebenfalls vertraut. Ebenso ist den Lernenden die Fällung von schwerlöslichen Salzen bekannt.

## Mögliche Einbettung in den Unterricht

### *Umweltchemie / Ökologie*

Im **Fach** Chemie wird das Thema **Umweltchemie** für die Systeme Wasser, Boden und Luft behandelt. Das Thema eignet sich ebenso für den Ökologieunterricht.

Als Teilgebiet behandelt die Lehrperson gerade die **aquatische Chemie** der organischen und anorganischen Schad- und Nährstoffe (Stumm 1996). Viele dieser Stoffe liegen in den Gewässern in gelöster Form vor. Der Besuch einer Kläranlage wäre eine gute Ergänzung zu dieser Lerneinheit. Es geht neben der Abwasserreinigung um die qualitative Beurteilung der Trinkwasserqualität. Diese kann mittels Leitfähigkeitsmessung relativ rasch und einfach ermittelt werden. Dieser Sachverhalt soll aber nicht bis in alle Tiefen der Elektrochemie erklärt werden.

Stattdessen soll mit Hilfe des Entdeckenden Lernens den Lernenden selber die Gelegenheit gegeben werden, die Leitfähigkeit einer Lösung in Abhängigkeit beispielsweise von der Elektrolytkonzentration und der Art der Elektrolyte erforschen zu können. Die Erforschung solcher Sachverhalte hat zu mehreren Nobelpreisen in Chemie geführt (Onsager 1968). Dabei sollen die Resultate nicht weiter quantitativ im Unterricht gebraucht werden. Vielmehr sollen die Lernenden für die Thematik der gelösten Schad- und Nährstoffe wie Salze, Säuren und Basen in aquatischen Systemen *sensibilisiert* werden.

Es wird danach der Bezug zur Bodenchemie und Bodenbiologie geschaffen. Die Thematik der Überdüngung und der Schwermetallbelastung wird eingehend unter dem Aspekt des Stofftransports in Böden behandelt (Gisi 1990). Ebenfalls kommt die Wirkung des sauren Regens im Wasser, Boden, Wald und Luft eingehend zur Sprache.

### *Alternative: Biochemie und Medizin*

Seit einiger Zeit erregen die Diskussionen um sogenannte **Ionenkanäle** das Interesse der Mediziner und Biochemiker (Agre 2002). Solche Ionenkanäle sind unter anderem für viele **physiologische Vorgänge** im Körper verantwortlich und wesentlich für die Funktion des **Nervensystems**, des **Gehirns** und nicht zuletzt des **Herzens** zuständig.

Die Lernenden behandeln dies im Rahmen des Fachs Chemie/Biologie unter dem Thema „Biochemie und Medizin“. Die Lehrperson kommt dabei auf die Bedeutung des **Stoffwechsels** und die **Chemie der Enzyme** zu sprechen. Es werden ebenfalls die Ionenkanäle angesprochen.

In einem Vorversuch zum Entdeckenden Lernen wird den Lernenden gezeigt, dass Ionen im elektrischen Feld wandern können ( $MnO_4^-$ -Ionen im elektrischen Feld). Die Lernenden erhalten die Gelegenheit für eigene Versuche. Es wird der Bezug zur Leitfähigkeit wässriger Elektrolytlösungen geschaffen. Nach dem Entdeckenden Lernen werden im Rahmen des Themas „Biochemie und Medizin“ verschiedene genetische Verfahren behandelt. Als

Paradebeispiel wird im Praktikum eine DNS-Analyse durchgeführt. Dies geschieht klassischerweise mittels Gelelektrophorese z.B. in Agarose (Försterling 1985, 255-256). Danach wird der Bezug zur Kriminalistik geschaffen, wo solche Analysen zur Aufklärung von Gewaltverbrechen eingesetzt werden.

## B.1 Vorbemerkungen zur Leitfähigkeit in der Chemie

In einem Vorversuch wurde geprüft, inwieweit sich ein selbstgebautes Leitfähigkeitsmessgerät überhaupt für die Messung der spezifischen Leitfähigkeit eignet. Dies geschah aus der Überlegung heraus, dass an vielen Schulen aus Kostengründen nicht genügend kommerziell erhältliche Leitfähigkeitsmessgeräte zur Verfügung stehen.

Dagegen stellt das selbstgebaute Leitfähigkeitsmessgerät eine günstige Alternative dar, so dass davon ein ganzer Klassensatz hergestellt werden kann.

Folgende Messanordnung wurde dafür verwendet:

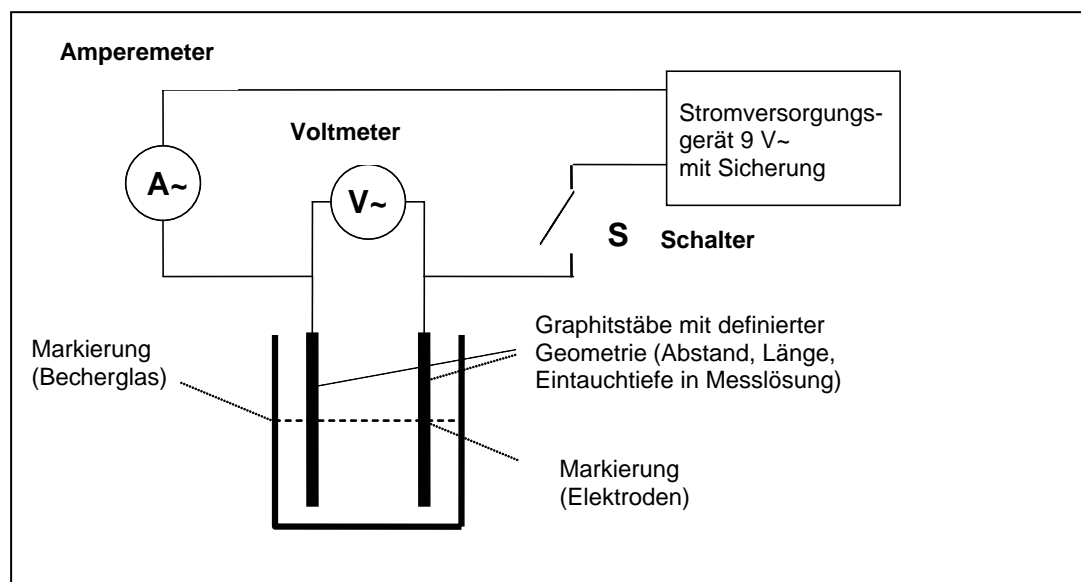


Abbildung 1. Schaltbild des selbstgebauten Leitfähigkeitsmessgerätes.

Die elektrische Spannung und die elektrische Stromstärke können jeweils leicht mit einem Multimeter gemessen werden.

Weitere Hinweise zum verwendeten Material kann die Lehrperson den Schüler/innen – Unterlagen entnehmen.

Mit dieser Messanordnung wurde für verschiedene Salzlösungen die spezifische Leitfähigkeit bei 20°C bestimmt. Die Werte sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

*Tabelle 1. Resultate der Leitfähigkeitsmessung mit dem selbstgebauten Leitfähigkeitsmessgerät. Die Literaturwerte stammen aus den Angaben des Application Bulletins der Firma Metrohm AG (Metrohm 1998).*

| Verbindung  | Konzentration                             | Spannung        | Stromstärke      | Widerstand          | Zellkonstante               | spezifische Leitfähigkeit | spezifische Leitfähigkeit Literatur | relativer Fehler    |
|-------------|---|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|
|             | $c$<br>( $\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) | $U$ (AC)<br>(V) | $I$ (AC)<br>(mA) | $R$<br>( $\Omega$ ) | $C$<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) | $\kappa$<br>(mS/cm)       | $\kappa$<br>(mS/cm)                 | (%)                 |
| NaCl        | 0,010                                     | 11,0            | 0,7              | 15714               | 12,1                        | 0,8                       | 1,1                                 | 28%                 |
| <b>NaCl</b> | <b>0,100</b>                              | <b>10,0</b>     | <b>6,3</b>       | <b>1587</b>         | <b>12,1</b>                 | <b>7,7</b>                | <b>9,7</b>                          | <b>21%</b>          |
| KCl         | 0,010                                     | 10,7            | 0,9              | 11889               | 12,1                        | 1,0                       | 1,3                                 | 20%                 |
| <b>KCl</b>  | <b>0,100</b>                              | <b>8,3</b>      | <b>8,0</b>       | <b>1038</b>         | <b>12,1</b>                 | <b>11,7</b>               | <b>11,7</b>                         | <b>Kalibration!</b> |
| HCl         | 0,010                                     | 10,0            | 2,7              | 3704                | 12,1                        | 3,3                       | 3,8                                 | 14%                 |
| <b>HCl</b>  | <b>0,100</b>                              | <b>5,4</b>      | <b>13,9</b>      | <b>388</b>          | <b>12,1</b>                 | <b>31,3</b>               | <b>36,3</b>                         | <b>14%</b>          |
| HCl         | 0,500                                     | 2,1             | 20,8             | 101                 | 12,1                        | 120,3                     | 169,0                               | 29%                 |
| HCl         | 1,000                                     | 1,2             | 23,1             | 52                  | 12,1                        | 233,9                     | N.N.                                |                     |
| NaOH        | 0,010                                     | 10,5            | 1,6              | 6563                | 12,1                        | 1,9                       | 2,1                                 | 13%                 |
| <b>NaOH</b> | <b>0,100</b>                              | <b>7,0</b>      | <b>9,7</b>       | <b>722</b>          | <b>12,1</b>                 | <b>16,8</b>               | <b>20,4</b>                         | <b>17%</b>          |
| NaOH        | 0,500                                     | 3,2             | 18,0             | 178                 | 12,1                        | 68,3                      | 90,7                                | 25%                 |
| NaOH        | 1,000                                     | 1,9             | 21,2             | 90                  | 12,1                        | 135,6                     | N.N.                                |                     |

Anhand dieser Tabelle wird deutlich, dass sich die Messungen der spezifischen Leitfähigkeit mit dem selbstgebauten Leitfähigkeitsmessgerät gegenüber den Literaturwerten durchaus sehen lassen können. Die Messmethode ist für das vorliegende Entdeckende Lernen genug empfindlich.

Vor allem für niedrigere Konzentrationen könnten die Fehler noch minimiert werden, wenn ein empfindlicheres Amperemeter zur Verfügung steht. Ebenfalls könnte eine Wechselstromfrequenz von 1000 Hz statt der üblichen 50 Hz verwendet werden (Försterling 1985, 238). Damit könnte ebenfalls die Empfindlichkeit bei niedrigeren Konzentrationen verbessert und die Abweichung bei höheren Konzentrationen minimiert werden.

Vorteilhafterweise werden die Leitfähigkeitsmessungen zuerst bei  $0,50 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  durchgeführt (vorbereitete Lösungen, siehe Lenkung), damit der Unterschied zwischen den verschiedenen Elektrolyten deutlich erkennbar wird.

Auf den nachfolgenden Abbildungen wird der Zusammenhang zwischen der Konzentration und der spezifischen Leitfähigkeit einer Elektrolytlösung gezeigt.

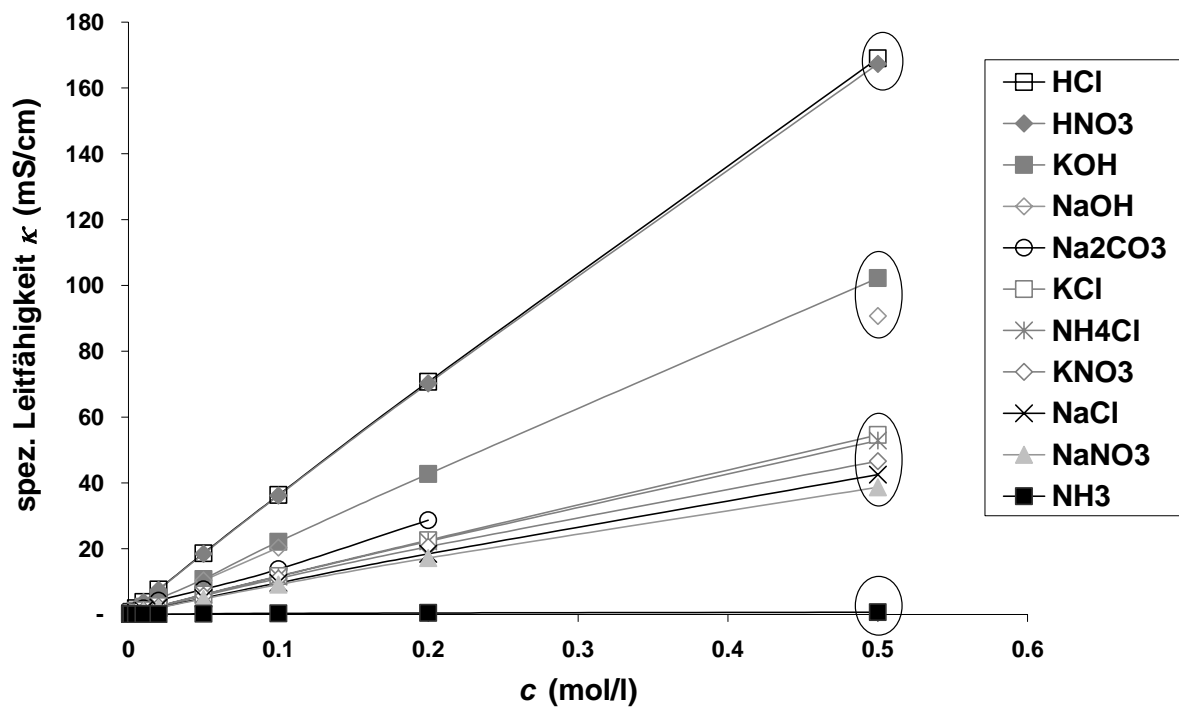


Abbildung 2. Spezifische Leitfähigkeit  $\kappa$  verschiedener Elektrolyte in Abhängigkeit der Elektrolytkonzentration (Metrohm 1998, 3).

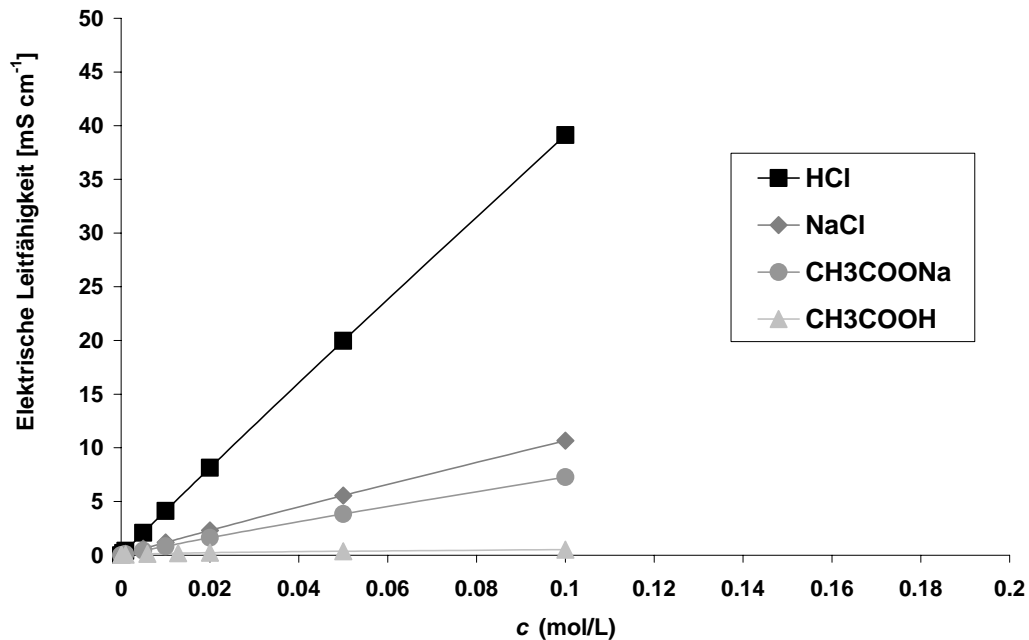


Abbildung 3. Spezifische Leitfähigkeit  $\kappa$  in Abhängigkeit der Elektrolytkonzentration, diesmal mit Essigsäure und Natriumacetat (Hamann 1998, 23).

## B.2 Simulation möglicher Ergebnisse

Basierend auf dem Vorwissen, der Lenkung und des Informationsangebots entdecken die Lernenden möglicherweise Teile der unten aufgelisteten Sachverhalte und Phänomene.

Diese Liste erhebt selbstverständlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es handelt sich hier lediglich um eine Simulation möglicher Entdeckungen.

### 1) Die spezifische Leitfähigkeit hängt von der Art des Elektrolyten ab

- Die Lernenden erkennen durch das Messen der vorbereiteten  $0,50 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  Lösungen, dass deren spezifische Leitfähigkeit von der Art der Elektrolyte abhängt. Es können hier folgende Teilaspekte entdeckt werden:
  - Die Reihenfolge der Leitfähigkeit der Elektrolyte ( $0,50 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ) ergibt sich wie folgt:  $\text{HCl} > \text{NaOH} > \text{KCl} \approx \text{NaCl} > \text{CH}_3\text{COONa} > \text{CH}_3\text{COOH}$ . Die Lernenden stellen hierzu verschiedene Überlegungen an, weshalb dies der Fall sein könnte. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die starken Säuren und Basen deutlich höhere Leitfähigkeiten besitzen als deren Salze. Bei schwachen Säuren wie Essigsäure und ihren Salzen ist dies gerade umgekehrt. Die Lernenden stellen hierzu weitere Überlegungen an.
  - Die Lernenden entwickeln eigene, Hypothesen z.B. für die sehr hohe Leitfähigkeit starker Säuren. Sie entdecken weiter, dass die Leitfähigkeiten einer  $0,50$  molaren Kaliumchlorid- und Natriumchloridlösung etwa gleich gross sind, hingegen die Essigsäure eine vergleichsweise niedrige Leitfähigkeit besitzt. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die  $\text{H}_3\text{O}^+$ - und  $\text{OH}^-$ -Ionen den Strom am besten leiten. Alle Begründungen werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die niedrige Leitfähigkeit von schwachen Säuren mit der niedrigen  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Konzentration (pH-Papier) zusammenhängt. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die niedrige Leitfähigkeit von Wasser mit der niedrigen  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Konzentration (pH-Papier) zusammenhängt. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die Leitfähigkeit einer verdünnten Säure bei einer bestimmten Konzentration als Mass für deren Stärke dient. Alle Gedankengänge werden anerkannt!

2) Die spezifische Leitfähigkeit hängt von der **Konzentration** des gelösten Elektrolyten ab

- Die Lernenden erkennen z.B. durch das Vergleichen der  $0,50 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  KCl-Lösung mit der  $0,10 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  KCl-Lösung, dass die spezifische Leitfähigkeit von der Konzentration des Elektrolyten abhängt. Sie stellen Überlegungen an, wieso dies der Fall sein könnte.
- Die Lernenden erkennen z.B. durch den Vergleich verschieden konzentrierter Salzlösungen, dass die spezifische Leitfähigkeit von der Konzentration des Elektrolyten abhängt. Sie stellen Überlegungen an, wieso dies der Fall sein könnte.

3) Weitere Entdeckungsmöglichkeiten

- Die Lernenden entdecken, dass die Leitfähigkeit einer Elektrolytlösung von der **Temperatur** abhängt.
  - Die Lernenden entdecken beispielsweise, dass die Leitfähigkeit einer wässrigen Salzlösung mit steigender Temperatur zunimmt! Sie versuchen sich dies anhand von Denkmodellen zu erklären. Alles wird anerkannt!
- Die Lernenden entdecken, dass die Leitfähigkeit einer Elektrolytlösung von der **Konzentration der gelösten Nichtelektrolyte** (z.B. Zucker) abhängen kann.
  - Die Lernenden entdecken beispielsweise, dass die Leitfähigkeit einer wässrigen Salzlösung mit zunehmendem Zuckergehalt sinkt! Sie versuchen dies anhand von Denkmodellen zu erklären. Die Lernenden stellen Hypothesen auf, dass z.B. die höhere Reibung der Ionen in einer dickflüssigen Zuckerlösung dafür verantwortlich sein könnte. Alles wird anerkannt!
- Die Lernenden führen eine **Säure/Base-Titration** durch.
  - Die Lernenden führen eine Säure/Base-Titration z.B. einer Salzsäure mit Natronlauge durch und beobachten eine dramatische Veränderung der Leitfähigkeit. Sie bringen diese Veränderung mit der Menge an zugegebener Base und/oder Säure in Verbindung. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die Säure/Base-Titration durch ein Leitfähigkeitsminimum geht. Sie bringen dieses Minimum mit der zugegebenen Menge an Säuren und Basen in Verbindung. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Sie entdecken weiter, dass dieses Leitfähigkeitsminimum mit dem Umschlagspunkt des Indikators übereinstimmt. Sie bringen dieses Minimum mit der zugegebenen Menge an Säuren und Basen in Verbindung. Alle Gedankengänge werden anerkannt!

- Die Lernenden führen eine Art „**Titration**“ durch, bei der schwerlösliche Salze ausfallen.
  - Die Lernenden führen eine Fällungsreaktion z.B. mit  $\text{MgSO}_4$ - und  $\text{BaCl}_2$ -Lösungen durch. Sie beobachten neben der Ausfällung von  $\text{BaSO}_4$  eine dramatische Veränderung der Leitfähigkeit. Sie bringen diese Veränderung mit der zugegebenen Menge löslicher Salze (z.B.  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$ ) und mit der ausgefällten Menge des schwerlöslichen Salzes (z.B.  $\text{BaSO}_4$ ) in Verbindung. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
  - Die Lernenden entdecken, dass die Fällung durch ein Leitfähigkeitsminimum geht. Sie bringen dieses Minimum mit der zugegebenen Menge löslicher Salze (z.B.  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$ ) und mit der ausgefällten Menge des schwerlöslichen Salzes in Verbindung. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
- Die Lernenden entdecken, dass man die Leitfähigkeitsmessung zur groben **Bestimmung des Salzgehaltes** einer wässrigen Lösung verwenden kann.
  - Die Lernenden verwenden die Leitfähigkeitsmessung zur Bestimmung des Salzgehaltes von Mineralwasser, Leitungswasser, destilliertem Wasser, Küchenwürze etc. Alle Gedankengänge werden anerkannt!
- Die Lernenden machen sich Gedanken darüber, wie die Leitfähigkeit von der **Ladung** der Ionen abhängen könnte.
  - *Dieser Sachverhalt ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge und Experimente in dieser Richtung anerkannt werden!*
- Die Lernenden machen sich Gedanken darüber, wie die Leitfähigkeit von der **Grösse** der Ionen abhängen könnte.
  - *Dieser Sachverhalt ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge und Experimente in dieser Richtung anerkannt werden!*
  - Die Lernenden stellen Hypothesen darüber auf, wie die Geschwindigkeit der Ionen in wässrigen Lösungen von deren „Grösse“ abhängt. Sie berücksichtigen hierzu die Hydrathülle. *Dies ist wieder recht komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge in dieser Richtung anerkannt werden!*
  - Die Lernenden vergleichen die Leitfähigkeit verschiedener organischer und anorganischer Verbindungen gleicher Konzentration in Lösung. So z.B.  $\text{CH}_3\text{COONa}$  und  $\text{NaCl}$ . Dabei bemerken die Lernenden, dass das  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ -Ion grösser als das  $\text{Cl}^-$ -Ion ist. Sie überlegen sich, wie die Leitfähigkeit mit der Grösse der Ionen in Verbindung gebracht werden kann. *Dies ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge in dieser Richtung anerkannt werden!*



- Die Lernenden führen verschiedene Leitfähigkeitsmessungen von **Carbonsäuresalzen** durch und vergleichen deren Leitfähigkeit bei gleicher Konzentration. So z.B.  $\text{CH}_3\text{COONa}$  und  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ . Dabei bemerken die Lernenden, dass das  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ -Ion kleiner als das  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ -Ion ist. Sie überlegen, wie die Leitfähigkeit mit der Grösse der Ionen in Verbindung gebracht werden kann. *Dies ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge in dieser Richtung anerkannt werden!*
- Die Lernenden führen verschiedene Leitfähigkeitsmessungen von **Tetraalkylammoniumsalzen** durch und vergleichen deren Leitfähigkeiten bei gleicher Konzentration. So z.B.  $\text{N}(\text{CH}_3)_4\text{Cl}$  und  $\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_4\text{Cl}$ . Dabei bemerken die Lernenden, dass das  $\text{N}(\text{CH}_3)_4^+$ -Ion kleiner als das  $\text{N}(\text{C}_3\text{H}_7)_4^+$ -Ion ist. Sie überlegen, wie die Leitfähigkeit mit der Grösse der Ionen in Verbindung gebracht werden kann. *Dies ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge in dieser Richtung anerkannt werden!*
- Die Lernenden führen z.B. mit Essigsäure eine Verdünnungsreihe durch und messen die entsprechenden Leitfähigkeiten. Sie versuchen, die gefundenen Werte in Bezug zur Dissoziationskonstante  $K_s$  der Essigsäure zu bringen. *Dies ist komplex, deshalb sollten alle Gedankengänge in dieser Richtung anerkannt werden!*

### B.3 Möglicher Stundenablauf

| <i>Method/Technik</i>   | <i>Unterrichtsgeschehen</i>  | <i>Hilfsmittel</i>   | <i>Bemerkungen</i>   | <i>Zeit</i> |
|---|--|--|--|-------------|
| Einstieg<br>Entdeckendes Lernen<br>zum Thema<br>Leitfähigkeit:<br>Lenkung | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Lernenden betreten das Labor und begeben sich an ihren bereits vorbestimmten (mit Namen versehenen) Arbeitsplatz.</li> <li>Die Lernenden lesen die Lenkung und studieren die Unterlagen (Minilehrtext, Anleitung, Tabellen, etc.), die Chemikalien und die Materialien.</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schriftliche <i>Lenkung</i> mit Informationsangebot (alle Unterlagen, Chemikalien und Materialien)</li> <li>Namensschilder</li> </ul> | Der Arbeitsplatz ist bereits vorbereitet. Die Lenkung erfolgt schriftlich. Die Lernenden lesen diese Lenkung für sich in Ruhe durch. | 30'         |
| Einzelarbeit:<br>Hauptphase<br>Entdeckendes Lernen                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Lernenden starten die ersten Experimente, machen sich Notizen, messen mit der Leitfähigkeitszelle diverse Lösungen durch, werten die Messungen aus und entscheiden sich für das weitere Vorgehen.</li> <li>Je nach Vorlieben führen die Lernenden weitere Messungen mit Chemikalien durch.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Schriftliche <i>Lenkung</i> mit Informationsangebot (alle Unterlagen, Chemikalien und Materialien)</li> </ul>                         | Die Lernenden arbeiten selbständig.  | 60'         |
| Einzelarbeit  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Lernenden stellen selbständig ihre Gedanken und Experimente auf einem A3-Blatt für die nachfolgende Ausstellung der Resultate zusammen.</li> <li>Die A3-Blätter werden an einer der vier Pinwände aufgehängt.</li> <li>Danach sammelt die Lehrperson die Laborjournale ein.</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Laborjournale, Millimeterpapier, Filzstifte, leere A3-Blätter, Klebstreifen, A4-Blätter, etc.</li> </ul>                              | Die Lernenden schreiben ihre Entdeckungen, Ideen und Gedanken selbständig auf.   | 20'         |
| Plenum  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ausstellung der Resultate beginnt. Die Lernenden gehen umher und tauschen ihre Erkenntnisse aus.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>A3-Blätter</li> </ul>   | Die Lernenden sind in Diskussionen involviert.   | 20'         |

## **B. Leistungsbeurteilung**

Es sollte *keine* Prüfung im Nachgang stattfinden, vielmehr zählen für die Bewertung die Gedanken, Überlegungen und Experimente der Lernenden. Die Lernenden schreiben ihre Gedanken und Auswertungen ihrer Experimente in ein Laborjournal, welches danach von der Lehrperson eingesammelt wird.

Wichtig ist, dass die Gedanken und Experimente der Lernenden nicht nachgebessert werden. Es wird auch nicht auf absolute fachliche Korrektheit oder auf grammatisch richtig formulierte Sätze Wert gelegt.

Vielmehr sollen die eigenen Gedanken und Überlegungen der Lernenden sowie deren gedankliche Arbeit zu ihren Experimenten gewürdigt werden.

Als Wertschätzung der selbständigen Arbeit der Lernenden werden die A3-Blätter an eine der vier grossen Pinwände ausgehängt. Es findet ein Austausch der Resultate wie auf einem wissenschaftlichen Kongress statt.

Die A3-Blätter sind das Produkt der Lernenden. Sie widerspiegeln das, was die Lernenden aus der Lernphase mitnehmen.