NWA-Tag am 01.06.2005 am

Staatlichen Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (RS) Reutlingen

Thema: Mikrokosmos und Makrokosmos mit Hilfsmitteln erschließen

Elektrolyse

Möglichkeiten zur Visualisierung der Ionenwanderung

Erstellt von Teilnehmern der Fachdidaktik Chemie (Kurs 22):

Markus Schneider, Wolff Weichselgartner, Stefan Schroedter

Abstract

Eine adäquate Visualisierung des Mikrokosmos ist für Schülerinnen und Schüler vielleicht der Schlüssel zum nachhaltigen Verständnis chemischer Phänomene. Die vorliegende Arbeit versucht anhand eines Modellexperiments zur Ionenwanderung eine Brücke zwischen der makroskopischen und der Welt der Atome zu schlagen. Durch ein methodisches Aufeinanderbeziehen soll insbesondere auf die verbindenden Momente dieser Welten Wert gelegt werden.

Inhalt

1 Sachanalyse (M. Schneider) 3
1.1 Geschichtliches 3
1.2 Chemischer Vorgang 3
1.3 Beispiele 3
2 Didaktische Schwerpunkte (W. Weichselgartner, S. Schroedter) 5
2.1 Thematischer Überblick 5
2.2 Bildungsplanverortung 6
2.3 Zielsetzungen dieser Arbeit 6
3 Versuch „Ionenwanderung“ (W. Weichselgartner, S. Schroedter) 8
3.1 Experimentverlauf und Protokollierung 8
3.2 Arbeits- bzw. Protokollblatt (Lösung) 10
3.3 Arbeits- bzw. Protokollblatt (Schülerversion) 11

1 Sachanalyse (M. Schneider)

1.1 Geschichtliches

Alessandro Volta erfand 1799 die erste brauchbare Batterie, die voltasche Säule. Mit dieser Stromquelle waren nun gezielte Anwendungen der Elektrolyse möglich. So gelang Humphry Davy in den Jahren 1807 und 1808 die Herstellung der Elemente Natrium, Kalium, Barium, Kalzium und Magnesium. Etwas später beschäftigte sich Michael Faraday mit der Elektrolyse und führte die Begriffe Elektrolyse, Elektrode, Elektrolyt, Anode, Kathode, Anion und Kation ein (1832). 1886 entwickelten Paul Louis Toussaint Héroult und Charles Martin Hall eine Elektrolysemethode zur Gewinnung von Aluminium, die heute nach den Entdeckern Hall-Heroult-Prozess genannt wird und die Grundlage heutiger Verfahren ist.

1.2 Chemischer Vorgang

Eine Elektrolyse ist eine durch den elektrischen Strom erzwungene Redoxreaktion. Dabei wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt, die in den Elektrolyseprodukten gespeichert wird. Bei der Elektrolyse tauchen zwei Elektroden, die an eine Gleichstromquelle angeschlossen sind, in eine Elektrolytschmelze oder Elektrolytlösung.

Der Minuspol (Kathode) der Stromquelle zieht positiv geladene Ionen (Kationen) an, die dann reduziert werden. Der Pluspol (Anode) zieht negativ geladene Ionen (Anionen) an und oxidiert sie. An der Kathode läuft also eine Reduktion und an der Anode eine Oxidation ab.

1.3 Beispiele

a) Elektrolyse einer Bleichloridschmelze

Bei der Elektrolyse von Bleichlorid wandern die in der Schmelze enthaltenen Blei-Ionen zur Kathode und werden dort zu Bleiatomen reduziert:

$$Pb^{2+} + 2\,e^- \rightarrow Pb$$

Die Chlorid-Ionen dagegen wandern zur Anode, wo sie oxidiert und so zu Chloratomen werden. Die Chloratome verbinden sich zu Chlormolekülen:

$$2\,Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\,e^-$$

An der Kathode werden immer genau so viele Elektronen abgegeben, wie an der Anode aufgenommen werden. Die Stromquelle liefert der Kathode ständig so viele Elektronen nach, wie sie der Anode entzieht. Deshalb erscheinen in der Gesamtreaktionsgleichung (Redoxreaktionsgleichung) die Elektronen nicht mehr:

$$\boldsymbol{Pb^{2+} + 2\,Cl^{-} \rightarrow Pb + Cl_2}$$

b) Elektrolyse von Wasser

Die Elektrolyse von Wasser besteht ebenso aus 2 Teilreaktionen, die an den 2 Elektroden ablaufen. Positiv geladene Hydronium-Ionen wandern im elektrischen Feld zu der negativ geladenen Elektrode (Kathode), wo sie jeweils ein Elektron aufnehmen. Dabei entstehen Wasserstoff-Atome, die sich mit einem weiteren, durch Reduktion entstandenen H-Atom zu einem Wasserstoff-Molekül vereinigen. Übrig bleiben Wasser-Moleküle:

$$2\,H_3O^{+} + 2\,e^{-} \rightarrow H_2 + 2\,H_2O$$

Der abgeschiedene, gasförmige Wasserstoff steigt an der Kathode auf.

Zur positiv geladenen Elektrode (Anode) wandern die negativ geladenen Hydroxid-Ionen. Jedes Hydroxid-Ion gibt zwei Elektronen an den Plus-Pol ab, so dass Sauerstoff-Atome entstehen, die sich zu Sauerstoff-Molekülen vereinigen. Die übrig bleibenden H^{+}-Ionen werden umgehend von Hydroxid-Ionen zu Wasser-Molekülen neutralisiert:

$$2\,OH^{-} \rightarrow \tfrac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2\,e^{-}$$

Auch hier steigt der abgeschiedene Sauerstoff als farbloses Gas an der Anode auf.

Die Gesamtreaktionsgleichung der Elektrolyse von Wasser lautet:

$$\boldsymbol{4\,H_3O^{+} + 4\,OH^{-} \rightarrow 2\,H_2 + O_2 + 6\,H_2O}$$

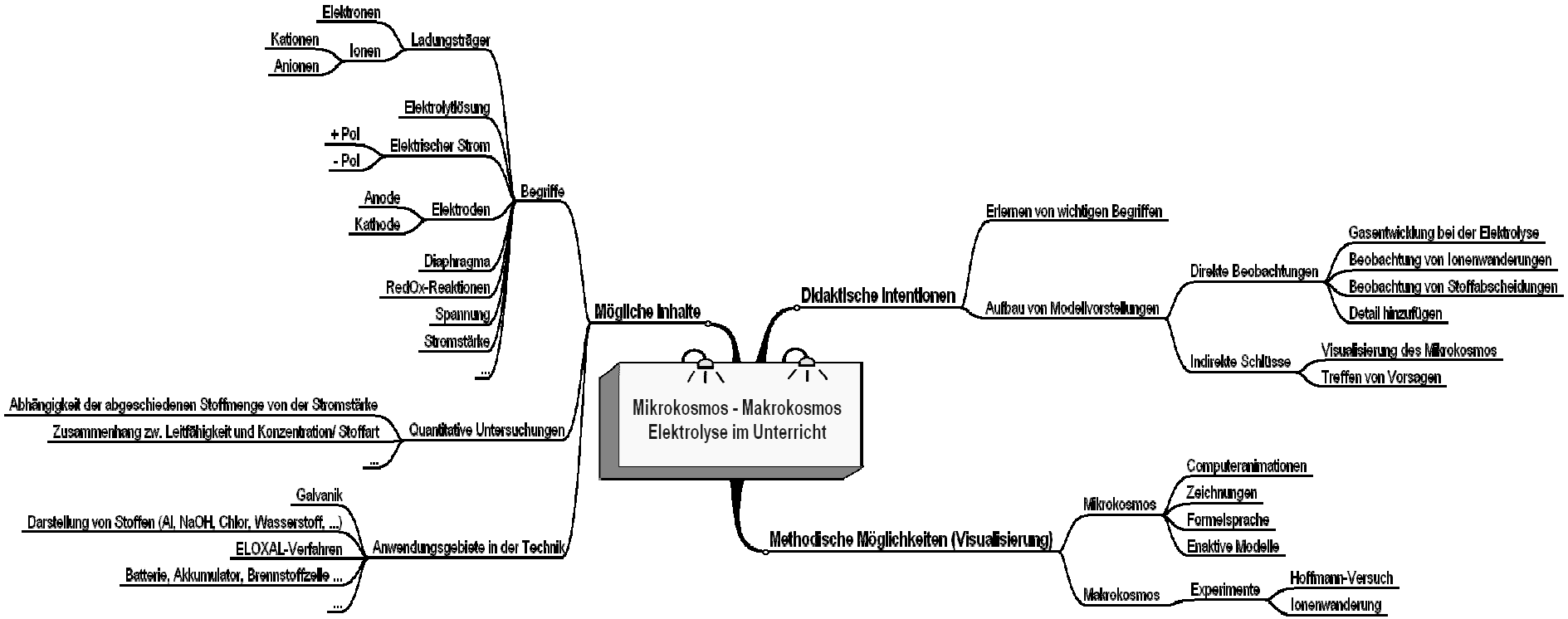
Verwendete Quellen:

1) www.wikipedia.de
2) http://dc2.uni-bielefeld.de/dc2/echemie/elyset.htm

2 Didaktische Schwerpunkte (W. Weichselgartner, S. Schroedter)

2.1 Thematischer Überblick

Die nun folgende Mindmap soll die Zusammenhänge der möglichen Inhalte, der didaktischen Intentionen und der methodischen Möglichkeiten – hier insbesondere der Visualisierungsmöglichkeiten – in Bezug auf die Elektrolyse im Schulunterricht strukturiert wiedergeben. Insbesondere für die Vertiefung der fachwissenschaftlichen Inhalte verweisen wir auf die chemische Fachliteratur[1].



[1] Sehr gut zugänglich ist bspw. **Mortimer, Ch. E.:** Chemie. Das Basiswissen der Chemie. Stuttgart. 1996[6].

2.2 Bildungsplanverortung

Der Kompetenzbereich „Den Mikrokosmos und modellhafte Deutungen erfahren“ findet sich im Bildungsplan der Realschule als Unterpunkt innerhalb des Komplexes „Kompetenzerwerb durch das Erschließen von Phänomenen, Begriffen und Strukturen“ wieder[2].
Dort heißt es:

> *„Die Schülerinnen und Schüler finden Zugang zur ‚andersartigen' Welt der Atome und Elementarteilchen (‚Mikrokosmos'). Sie erkennen, dass ähnliches chemisches Verhalten von Elementen auf einem ähnlichen Atombau beruht. […] Die Schülerinnen und Schüler können zur Beschreibung des Mikrokosmos Modelle sinnvoll einsetzen.“*[3]

Das von uns in Abschnitt 3 vorgeschlagene Modellexperiment versucht, wie man bei der Betrachtung der einzelnen Bestandteile erkennen kann, eben diesen vorgegebenen Kriterien gerecht zu werden.
Die Frage nach der Jahrgangsstufe, in welcher der Versuch zur Ionenwanderung am sinnvollsten untergebracht werden kann, lässt sich nicht pauschal beantworten. Abhängig davon ist im Wesentlichen die jeweilige curriculare Umsetzung der Kompetenzvorgaben des Bildungsplans. Für unser Experiment sollten die SchülerInnen mindestens die chemischen Begriffe „Atom“, „Elektron“, „Ion“ bzw. „Ionenverbindung“ (=Salz), „Kation“ und „Anion“ in Ihren Bedeutungen und in ihren Beziehungen zueinander verstanden haben. Hinzu kommen die physikalischen Aspekte „elektrischer Strom“, „Plus- und Minuspol“ und „Stromspannung“. Daraus ergibt sich, dass das Thema Elektrolyse tendenziell am Ende der 8. oder innerhalb der neunten Klasse bearbeitet werden kann.

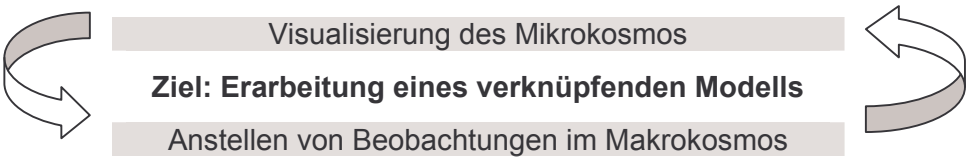
2.3 Zielsetzungen dieser Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll der Versuch unternommen werden, anhand eines Experiments zum Thema „Elektrolyse“ im Chemieunterricht eine Brücke zwischen der „realen“ makroskopischen und der „schülerfernen“ mikroskopischen Welt zu schlagen. Das grundlegende Ziel hierbei ist die Erarbeitung eines verknüpfenden Modells, dass zueinander gehörende Aspekte des Makrokosmos mit denen des Mikrokosmos in eine kausale Beziehung setzt. Der SchülerIn soll hierdurch exemplarisch verdeutlich werden, dass durch die

---

[2] vgl. KM-BW: Bildungsplan für die Realschule. Stuttgart. 2004. S.98ff
[3] aaO.

Wahl geeigneter Experimente und deren Auswertung Schlüsse von den direkt beobachtbaren Eigenschaften und Vorgängen[4] der Natur auf eben deren grundlegenden Aufbau (Elementarteilchen, Atome, Moleküle, …) möglich sind. Selbstverständlich erhält man durch solch eine modellhafte Betrachtung ebenso die Möglichkeit mittels bekannter mikroskopischer Eigenschaften makroskopische vorherzusagen.



Es stellt sich nun die Frage, welche Kriterien dieses Experiment erfüllen soll. Im folgenden sollen unsere beiden Leitprinzipien dazu erläutert werden.

Anschaulichkeit – Adäquate Visualisierung

Das Experiment und seine Auswertung soll eine für die SchülerIn möglichst gut sichtbare Verbindung zwischen der mikroskopischen und der makroskopischen Welt herstellen. Dabei sollen verschiedene Darstellungsweisen[5] des Phänomens benutzt werden um unterschiedlich gelagerte Wahrnehmungsfähigkeiten auszugleichen.

Bei der klassischen Umsetzung der Elektrolyse im Schulunterricht, nämlich der Zersetzung einer Elektrolytlösung in einer Hoffmann-Apparatur, liegt der Schwerpunkt der Visualisierung bei der Gasentwicklung, die in den beiden Schenkeln über den Elektroden sehr deutlich durch Bläschenbildung und Flüssigkeitsverdrängung beobachtet werden kann. Als mikroskopisches Pendant können beispielsweise Formeln eingesetzt werden, die die Entstehung der Gase durch Oxidations- und Reduktionsprozesse zu beschreiben suchen. Das entscheidende Kriterium, nämlich dass sich in der Flüssigkeit geladene Teilchen befinden müssen, ist in diesem Experiment nicht beobachtbar. Wir haben uns deshalb dazu entschlossen eben diesen Aspekt im wahrsten Sinne des Wortes sichtbar zu machen.

Durchführbarkeit im Schulunterricht

Ein weiteres entscheidendes Kriterium für die Erarbeitung unseres Modells ist die Durchführbarkeit im Unterricht. Dies bezieht sich insbesondere auf die schulüblichen Zeitvorgaben (45min-Takt), den Entwicklungsstand der Kinder und die materiellen Vorraussetzungen. Der grundsätzliche Aufbau des Versuchs soll es gestatten, dass die SchülerIn unter Anleitung

---

[4] also Reaktionen im weitesten Sinne

[5] bspw. Text, Experiment, Formelsprache, Zeichnungen, enaktive Modelle – eine Visualisierung eines unserem sehr ähnlichen Experiments findet sich unter: http://www.jack-steinberger-gymnasium.de/upload/boese/1085407387.pps (Stand: 10.05.2005)

der Lehrerkraft weitestgehend selbstständig, also direkt am Geschehen beteiligt, arbeiten kann.

FAZIT*:*

Wir haben uns dazu entschlossen die „Ionenwanderung“ als Modellexperiment heranzuziehen. Sie erfüllt die Kriterien der Anschaulichkeit und Durchführbarkeit im oben erläuterten Sinne. Durch die protokollarische Verarbeitung der Versuchsergebnisse soll die Verbindung zwischen makroskopischer und mikroskopischer Welt visualisiert werden[6].

3 Versuch „Ionenwanderung“ (W. Weichselgartner, S. Schroedter)

3.1 Experimentverlauf und Protokollierung

Das von uns vorgeschlagene Experiment gliedert sich in drei Teile:

1) Erarbeitung des Experiments mit den SchülerInnen

- Ausgehend von den Eigenschaften der Ionen wird versucht einen Weg zu finden, wie man die Eigenschaft der Ionen, Ladungsträger zu sein, nachweisen könnte.
- Zusammen mit den Schülern wird entsprechend dem Arbeits- und Protokollblatt (siehe 3.2 und 3.3) das Experiment sukzessive aufgebaut.
- Die Lehrkraft nimmt hierbei möglichst die Rolle des Impulsgebers und Materialbereitstellers ein.
- Alternative: Die Lehrkraft gibt die Informationen für die Durchführung des Experiments direkt an die SchülerInnen weiter[7].

2) Durchführung des Experiments

- Entsprechend der erarbeiteten Vorschrift führen die SchülerInnen das Experiment durch und notieren Ihre Beobachtungen.
- Vom Versuchsaufbau einer jeden SchülerIn wird ein digitales Foto erstellt und ausgedruckt.
- Die Lehrkraft steht assistierend zur Verfügung und stellt benötigte Materialien bereit.

---

[6] näheres dazu siehe Abschnitt 3

[7] Dies macht insbesondere dann Sinn, wenn infolge beschränkter Zeit der Versuch nicht mit den SchülerInnen ausgearbeitet werden kann.

Experimentkarte für die Lehrkraft	
Zeitaufwand	• im Schülerversuch ca. 15 min • im Demonstrationsversuch ca. 5 min
Chemikalien	• Lösung von Natriumsulfat: Herstellung durch Zugabe von Na_2SO_4 auf 50-100ml Wasser, bis sich nichts mehr löst • Ein sehr kleiner Kristall Kaliumpermanganat ($KMnO_4$)[8]
Geräte	• Stromquelle (am besten Schülerplätze zentral über Transformator versorgen) • zwei Kabel • Objektträger (vom Mikroskopieren) • zwei Graphitelektroden • Spatel
Durchführung	• Die Graphitelektroden an den gegenüberliegenden Seiten des Objektträgers mit Krokoklemmen befestigen • die beiden Klemmen über die Kabel mit der Stromquelle verbinden • Natriumsulfat-Lösung auf Objektträger geben, so dass eine „Pfütze“ entsteht, die den ganzen Träger bedeckt • in die Mitte der Pfütze den Kaliumpermanganat-Kristall legen • Anlegen einer Spannung von etwa 6 bis 12 V • Bem.: Legt man den Objektivträger in eine Petrischale, so ist grundsätzlich auch eine Projektion auf dem TLP möglich.
Ergebnis	• der Kristall löst sich auf • die violetten Schlieren wandern auf den Pluspol zu

3) Reflexion

- Gemeinsam versucht man die Erklärung für das beobachtete Phänomen zu finden.
- Die SchülerInnen kleben Ihr Experiment-Foto nach dem Trocknen auf das Arbeitsblatt.
- Nun wird mit den SchülerInnen gemeinsam das verbindende Modell erarbeitet: Es handelt sich hierbei um eine TLP-Folie, die auf die Größe des Experimentfotos zugeschnitten wird. Anschließend zeichnen die SchülerInnen die geladenen Ionen samt Wanderungsrichtung (Pfeile) so auf die Folie, dass diese beim Überdecken des Fotos genau auf dem gewanderten Permanganatfleck zum Liegen kommen. Damit ist die makroskopische mit der mikroskopischen Anschauung verbunden. Durch Aufkleben und Knicken der Folie kann nun ständig zwischen reinem Versuchsergebnis und atomarer Deutung gewechselt werden.

[8] schwach wassergefährdend (N), reizend (Xn) und brandfördernd (O) – Entsorgung über Abfluss, mit viel Wasser nachspülen.

3.2 Arbeits- bzw. Protokollblatt (Lösung)

Der elektrische Strom lässt Teilchen wandern.

Versuch: Ionenwanderung auf einer Glasplatte

1) Aufgabenstellung:

Wir wollen die Ladung der Ionen nachweisen, indem wir sie in einem el. Feld wandern lassen.

2) Chemikalien und Geräte:

- An Geräten benötigt man:

Stromquelle (Trafo), zwei Kabel, Objektträger zwei Graphitelektroden mit zwei Krokodilklemmen.

- An Chemikalien benötigt man:

Eine Lösung von Natriumsulfat (Na_2SO_4), einen kleinen Kristall Kaliumpermanganat ($KMnO_4$)

3) Durchführung:

Graphitelektroden an den gegenüberliegenden Seiten des Objektträgers mit Krokoklemmen befestigen - die beiden Klemmen über die Kabel mit der Stromquelle verbinden - Natriumsulfat-Lösung auf Objektträger geben, so dass eine „Pfütze" entsteht, die den ganzen Träger bedeckt - in die Mitte der Pfütze den Kaliumpermanganat-Kristall legen - Anlegen einer Spannung von etwa 6 bis 12 V

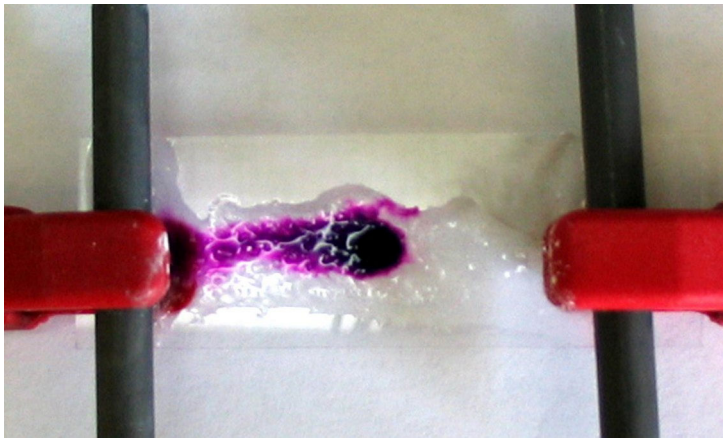
4) Beobachtung:

Der Kristall löst sich auf. Die violette Färbung wandert langsam in Richtung der Elektrode, die an den Pluspol der Stromquelle angeschlossen ist.

5) Ergebnis und Erklärung:

Das violett gefärbte Permanganat-Ion muss elektrisch positiv geladen sein, weil es vom Pluspol angezogen wird.

Hier die Folienkante aufkleben !



3.3 Arbeits- bzw. Protokollblatt (Schülerversion)

1) Aufgabenstellung:

2) Chemikalien und Geräte:

- An Geräten benötigt man:
- An Chemikalien benötigt man:

3) Durchführung:

4) Beobachtung:

5) Ergebnis und Erklärung:

Hier die Folienkante aufkleben !	Hier ist Platz für Dein Experiment-Foto (ca. *10 cm x 7 cm*)