



**Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung  
(IMST-Fonds)**

**S5 „Entdecken, Forschen und Experimentieren“**

---

# **EXPERIMENTIERSET ZUR ELEKTROCHEMIE**

**ID 1082**

**Albrecht Sotriffer**



Wien, Juli 2008

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ausgangssituation.....	5
1.2 Ziele des Projekts .....	6
<b>2 DURCHFÜHRUNG</b> .....	<b>7</b>
2.1 Spannungsreihe.....	7
2.1.1 Spannungsreihe mit Draht und Filterpapier.....	8
2.1.2 Spannungsreihe mit Mikrotiterplatten.....	9
2.1.3 Spannungsreihe mit Kartoffelscheiben .....	11
2.2 Elektrolyse .....	12
2.2.1 Chlor Alkali Elektrolyse .....	12
2.2.2 Knallgaszelle.....	14
2.3 Elektrochemische Stromerzeugung .....	16
2.3.1 Danielle Element.....	16
2.3.2 Leclanché Element .....	17
2.3.3 Akkumulatoren .....	18
2.3.4 Brennstoffzelle .....	18
<b>3 EVALUATION</b> .....	<b>19</b>
3.1 Zielerreichung .....	19
3.1.1 Einfachheit in Aufbau und Durchführung.....	19
3.1.2 Sicherheit .....	19
3.1.3 Kurze Vor- und Nachbereitungszeit .....	19
3.1.4 Abdeckung der wesentlichen Bereiche .....	19
3.1.5 Geringe Kosten.....	20
3.1.6 Kompatibilität zu vorher erarbeiteten Materialien .....	20
3.2 Erfahrungen im Unterricht und Akzeptanz .....	20
3.3 Beobachtungen.....	20
3.4 SchülerInnenbefragung.....	21
<b>4 REFLEXION UND AUSBLICK</b> .....	<b>22</b>

4.1	Zusammenfassung und Bewertung der Erfahrungen.....	22
4.2	Vorschlag für ein Experimentierset .....	22
4.3	Mögliche weitere Entwicklungen .....	23
<b>LITERATUR</b>	.....	<b>24</b>

## ABSTRACT

*Im Rahmen dieses Projektes wurden Arbeitsmaterialien für Schülerversuche im Bereich Elektrochemie erarbeitet. Diese Materialien basieren auf kostengünstigen Kunststoffartikeln (Einweg PE Pipetten und Mikrotiterplatten). Dadurch sparen sie nicht nur Kosten, sondern auch Chemikalien. Aufgrund der geringen Chemikalienmengen sinken die Gefährdung und auch der Entsorgungsaufwand. Selbst bei hohen Klassenschülerzahlen sind die Versuche mit einem geringen Aufwand an Vor- und Nachbereitungszeit durchführbar. Es werden die Bereiche Spannungsreihe, Elektrolyse und elektrochemische Stromerzeugung mithilfe dieses Materials abgedeckt.*

Schulstufe: 9

Fächer: Angewandte Chemie und Ökologie

Kontaktperson: Dipl.Ing. Dr. Albrecht Sotriffer

Kontaktadresse: TGM Schule der Technik Wexstraße 19-23 1200 Wien

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Ausgangssituation

In einer Reihe von Vorgängerprojekten wurden Methoden entwickelt, mit denen Schülerexperimente auch unter schwierigen Umständen (geringe Geldmittel, wenig Platz, hohe Klassenschülerzahlen, sowie stark leistungsheterogene Klassen) durchführbar machen. Kern der Methoden war der konsequente Einsatz von microscale Techniken, der Verzicht auf Glasgeräte und die Verwendung von Kunststoffartikeln wie Mikrotiterplatten und Einweg Pasteurpipetten. Ähnliche Methoden werden seit vielen Jahren in vielen Ländern – auch im universitären Bereich eingesetzt. Es war also keine vollständige Neuentwicklung, sondern eine Anpassung an die Erfordernisse der Schule nötig<sup>1</sup>.

Diese Methodik konnte bis jetzt erfolgreich bei einer Reihe von Themenbereichen eingesetzt werden. Es wurden Experimentiermaterialien und Arbeitsvorschriften für die Themenbereiche Säure/Basen Reaktionen, Stöchiometrie, Reaktionsgeschwindigkeit, Flammenfärbung, Destillation und Gas - Chromatographie ausgearbeitet und im Unterricht eingesetzt. Die Erfahrungen waren durchwegs positiv.

Experimentiersets für Elektrochemie sind teilweise zu erheblichen Kosten auf für Lehrmittelbedarf spezialisierten Firmen verfügbar. So bietet beispielsweise Conatex<sup>2</sup> einen Experimentierplatz Elektrochemie zu einem Preis von 95,-€ an. Auch Phywe bietet einen Experimentierplatz Elektrochemie an, der für Schülerexperimente geeignet ist. Der Preis dafür liegt bei immerhin 320,09 €<sup>3</sup> ohne Verbrauchsmaterialien. Die Ausstattung dieser kommerziell verfügbaren Experimentiersets ist entweder dürftig – das heißt es kann nur ein kleiner Teilbereich der Elektrochemie abgedeckt werden – oder die Kosten sind absolute prohibitiv. (Im BMHS Bereich muss immer noch von einer Schülerzahl von 36 in den ersten Jahrgängen ausgegangen werden, was also beim Beispiel des Phywe Messplatzes zu Gesamtkosten über 11500,-€ ohne Verbrauchsmaterial führt.)

Eine Reihe von Experimenten wird auch von Peter Schwarz<sup>4</sup> beschrieben. Diese Experimente arbeiten im Mikromaßstab und setzen kostengünstige Materialien ein, erwecken aber einen hochgradig improvisierten Eindruck, da in hohem Ausmaß Abfallmaterialien (Getränkkartons, Medikamentenblister etc.) verwendet werden.

Stephen Thompson beschreibt in seinem Laborprogramm Chemtrek auch Experimente zur Elektrochemie.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> [www.smallscalechemistry.colostate.edu](http://www.smallscalechemistry.colostate.edu) (7.7.08)  
[dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html](http://dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html) (7.7.08)  
[www.radmaste.org.za](http://www.radmaste.org.za) (7.7.08)

<sup>2</sup> [http://www.conatex.com/shop/product\\_info.php?cPath=1933\\_2057\\_2058&products\\_id=2059](http://www.conatex.com/shop/product_info.php?cPath=1933_2057_2058&products_id=2059)  
(19.4.08)

<sup>3</sup> <https://shop.phywe.de/prod/de/452/422453/elektrochemie-messplatz.html> (29.6.08)

<sup>4</sup> <http://www.microchem.de/dillingen.html> (19.4.08)

<sup>5</sup> Stephen Thompson; Chemtrek; Prentice Hall New Jersey 1990

## 1.2 Ziele des Projekts

Ziel des Projekts war es, ein Experimentierset zu entwickeln, mithilfe dessen die wesentlichen Bereiche der Elektrochemie erarbeitet werden können. Es sollten Versuche zur elektrochemischen Spannungsreihe, zur Elektrolyse, Batterie/Akku und evt. Brennstoffzelle enthalten sein. An erster Stelle steht bei den Anforderungen die praktische Durchführbarkeit im Unterricht. Das erfordert die Erfüllung folgender Kriterien:

- Der Aufbau und die Durchführung dürfen nicht zu kompliziert sein und müssen fehlertolerant sein.
- Die Sicherheit der Unterrichteten und natürlich auch der Unterrichtenden muss gewährleistet sein.
- Kurze Vor - und Nachbereitungszeiten sind erstrebenswert
- Die wesentlichen Bereiche der Elektrochemie Spannungsreihe, Elektrolyse, Batterie müssen abgedeckt sein.
- Die Kosten sollten nach Möglichkeit mindestens um den Faktor 10 unter den kommerziell erhältlichen Experimentiersets liegen.
- Nach Möglichkeit sollte eine Kompatibilität zu den vorher erarbeiteten Experimentiermaterialien gegeben sein.

## 2 DURCHFÜHRUNG

Unter Verwendung der in den Vorgängerprojekten<sup>6</sup> erarbeiteten Methoden wurden unterschiedliche Ansätze in den Bereichen Spannungsreihe, Elektrolyse und Stromerzeugung ausgearbeitet und getestet.

### 2.1 Spannungsreihe

Ein häufiges Problem bei Versuchen zur elektrochemischen Spannungsreihe sind die zahlreichen unterschiedlichen Elektroden aus verschiedenen Metallen, die in reiner Form oft nur schwierig verfügbar sind. Wenn sie jedes Mal einzusammeln und zu ordnen sind, stellt das zum ersten eine Fehlerquelle und zweitens einen erheblichen administrativen Aufwand dar. Es war daher ein wesentlicher Punkt, kostengünstige Elektrodenmaterialien zu finden, die als Einmalartikel verwendet werden können.

Dies wurde hauptsächlich durch die Verwendung von Drähten erreicht, die in jedem Baumarkt gefunden werden können.

Folgende Elektrodenmaterialien wurden verwendet:

Mg	Magnesium Band
Al	kleine Streifen Aluminiumblech
Zink	verzinkter Eisendraht
Eisen	Blumendraht (Weicheisendraht unbehandelt)
Nickel	Umspinnung einer E-Gitarrensaite (Nickel roundwound) <sup>7</sup>
Kupfer	Kupferdraht
Silber	versilberter Kupferdraht

Da immer nur ca. 2-3cm lange Drahtstücke verwendet werden können die Elektroden nach der Verwendung verworfen werden. Die Kosten sind nur marginal.



Abb. 1 Elektrodenmaterialien



Abb. 2 Nickeldraht aus E- Gitarren Saiten

<sup>6</sup> A. Sottriffer, Zeitsparende und kostengünstige Schülerexperimente, Chem.Sch. (Salzbg.) 22 2007, Nr. 2 S. 16-19

A. Sottriffer, Die Einweg- Destillationsapparatur, Chem. Sch.(Salzbg.) 22(2007) Nr. 3 S. 13-14

<sup>7</sup> Bezugsquelle z.B. [www.conrad.at](http://www.conrad.at) Artikelnummer: 367893 - 62



Abb. 3 Chemikalienbereitstellung in verschließbaren Einwegpipetten

Die Chemikalienlogistik wurde über „Pipettenflaschen“ abgewickelt (Herstellung siehe erster Projektbericht)<sup>8</sup>

### 2.1.1 Spannungsreihe mit Draht und Filterpapier

Thompson beschreibt in Chemtrek einen interessanten Ansatz für ein Experiment zur Spannungsreihe. Ein Filterpapier wird - wie in der folgenden Zeichnung ersichtlich – zugeschnitten:

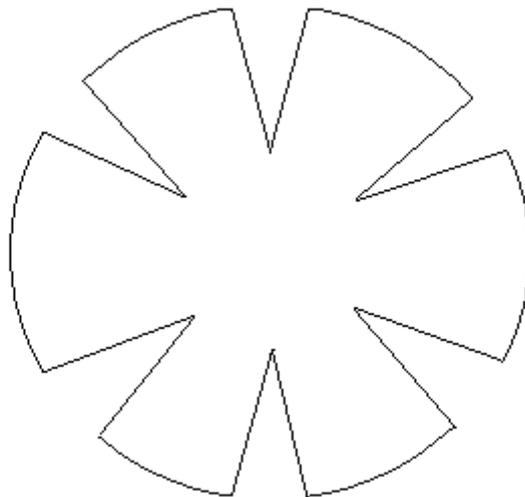


Abb. 4 Zuschnitt von Filterpapier

---

<sup>8</sup> [http://imst3plus.uni-klu.ac.at/materialien/index2.php?content\\_id=176752](http://imst3plus.uni-klu.ac.at/materialien/index2.php?content_id=176752) (7.7.08)

Das Filterpapier wird in eine Petrischale gelegt. Auf die - von den Einschnitten getrennten - Bereiche werden Salzlösungen wie z.B. Kupfersulfat, Nickelsulfat ... aufgebracht. In der Mitte wird eine Leitsalzlösung wie z.B.  $\text{KNO}_3$  aufgetropft. Drähte der Metalle werden auf die entsprechenden Bereiche aufgelegt. Nun kann man die Spannungen zwischen allen Metallen messen.

Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass der apparative Aufwand extrem gering ist, und sich die Vorbereitung im Wesentlichen auf das Bereitstellen der Lösungen und Elektroden beschränkt.

Das Problem, das hier vor allem auftritt ist die schlechte Kontaktierung zwischen den Elektroden und den Elektrolyten, so dass einigermaßen vernünftige Resultate nur bei vergleichsweise großem Geschick zu erzielen sind. Aus diesem Grund hat sich diese Versuchsanordnung im Schülerversuch eher nicht bewährt.

### 2.1.2 Spannungsreihe mit Mikrotiterplatten<sup>9</sup>

Mithilfe der Mikrotiterplatten (96 Reaktionsgefäße) lassen sich - aufgrund der zahlreichen nebeneinander liegenden Reaktionsgefäße - vollständige Halbelemente in sehr kurzer Zeit nebeneinander aufbauen. Dazu wird in jedes der Reaktionsgefäße ein unterschiedliches Drahtstück gesteckt. (Bei Verwendung galvanisch beschichteter Drähte muss der Draht einmal umgeknickt und mit der geknickten Seite nach unten in das Gefäß gestellt werden, um zu vermeiden, dass das innen liegende Metall mit der Salzlösung in Kontakt gerät.) Zu jedem Metalldraht werden 20 Tropfen der jeweils passenden Salzlösung zugegeben (1 molare oder 0,1 molare Lösungen von Magnesiumsulfat, Kupfersulfat, Eisen(II)sulfat, Nickelsulfat, Zinksulfat, Aluminiumsulfat, Silbernitrat).

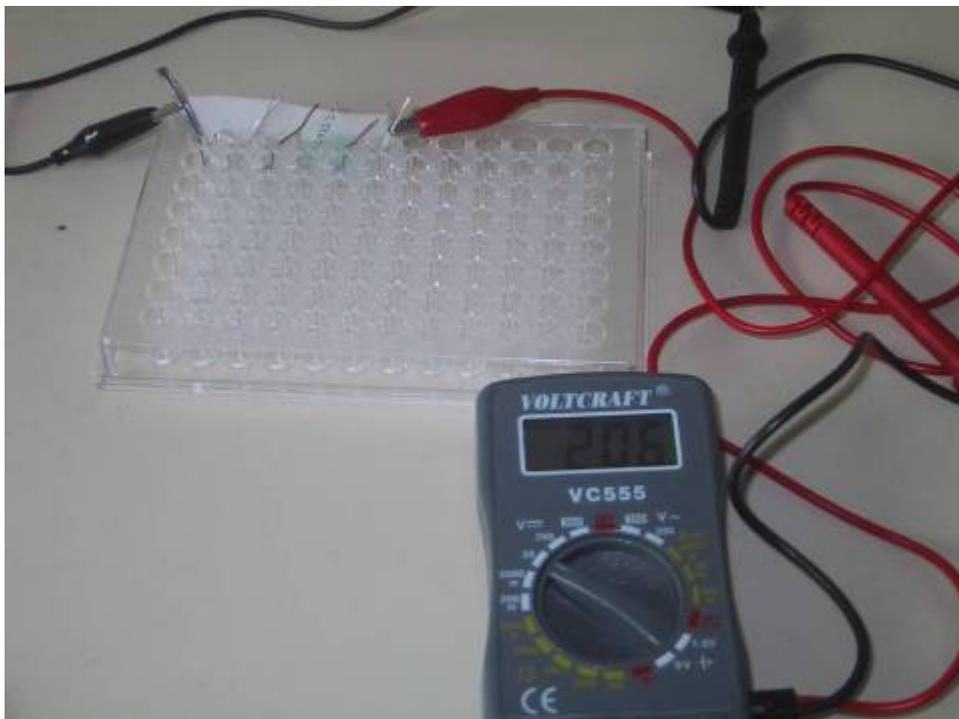


Abb. 5 Spannungsreihe mit Mikrohalbelementen

<sup>9</sup> <http://dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale30.html> (7.7.08)

Als Stromschlüssel dient ein Filterpapier, das in folgende Form geschnitten wird:

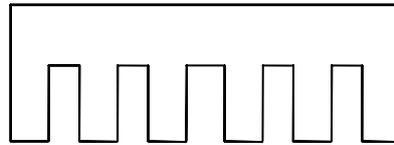


Abb. 6 Vorlage für das Zuschneiden des Filterpapiers

So kann das Filterpapier mit den Zinken des „Rechens“ in jedes Reaktionsgefäß eingetaucht werden. Anschließend wird über eine Pipette eine Leitsalzlösung (z.B. Kaliumnitrat) aufgetragen. Nun kann mit geringem Aufwand die Spannung zwischen allen Halbelementen mit einem herkömmlichen kostengünstigen Multimeter vermessen werden.

In der folgenden Tabelle ist ein typisches Beispiel für erhaltene Ergebnisse zu finden:

+Pol / -Pol	Mg	Zn	Fe	Ni	Cu	Ag
Mg	0	-940	-1370	-1850	-1920	-2100
Zn	940	0	-450	-900	-1000	-1200
Fe	1370	450	0	-500	-590	-800
Ni	1850	900	500	0	-80	-200
Cu	1920	1000	590	80	0	-80
Ag	2100	1200	800	200	80	0

Spannungen zwischen den Halbelementen in mV bei Verwendung 0,1 molarer Lösungen

Im Vergleich dazu die Werte die sich aus der Spannungsreihe ergeben:

+Pol / -Pol	Mg	Zn	Fe	Ni	Cu	Ag
Mg	0	-1610	-1930	-2140	-2710	-3170
Zn	1610	0	-320	-530	-1100	-1560
Fe	1930	320	0	-210	-780	-1240
Ni	2140	530	210	0	-570	-1030
Cu	2710	1100	780	570	0	-460
Ag	3170	1560	1240	1030	460	0

Daraus ist zu erkennen, dass die qualitative Abfolge in der Spannungsreihe zwar korrekt wiedergegeben wird, aber vor allem in den Extrembereichen die gemessenen Spannungen deutlich zu niedrig sind. Dies tritt aber auch bei Messungen mit weitaus größeren Zellen auf, ist also keine Frage des Maßstabs sondern vor allem der Oberflächenbehandlung der Elektroden. Quantitativ korrekte Ergebnisse können normalerweise nur mit erheblichem experimentellen Aufwand erhalten werden. Es ist eine Frage der konkreten Zielsetzung, ob es wirklich notwendig ist, vollständige Halbelemente zu bauen.

Ein Vorteil der Methodik besteht beispielsweise darin, dass mit geringfügiger Adaptation auch z.B. Konzentrationsketten aufgebaut werden können. Ebenso können auch unmittelbar nach Vermessung der Spannungsreihe Zementationsversuche durchgeführt werden.

Die qualitative Abfolge der Metalle in der Spannungsreihe kann nämlich experimentell beträchtlich einfacher erhalten werden.

### 2.1.3 Spannungsreihe mit Kartoffelscheiben

Die Reihenfolge der Metalle in der Spannungsreihe lässt sich auch experimentell bedeutend einfacher feststellen. Dazu reichen Drahtstücke aus verschiedenen Metallen (auch hier ist es Ausreichend, wenn die Drahtoberfläche aus dem betreffenden Metall besteht), eine Kartoffelscheibe und ein Multimeter. Die Drähte werden durch die Kartoffelscheibe durchgesteckt (das ist bei der Verwendung von z.B. verzinkten oder versilberten Drähten wichtig) und zwischen allen Metallen die auftretenden Spannungen gemessen.

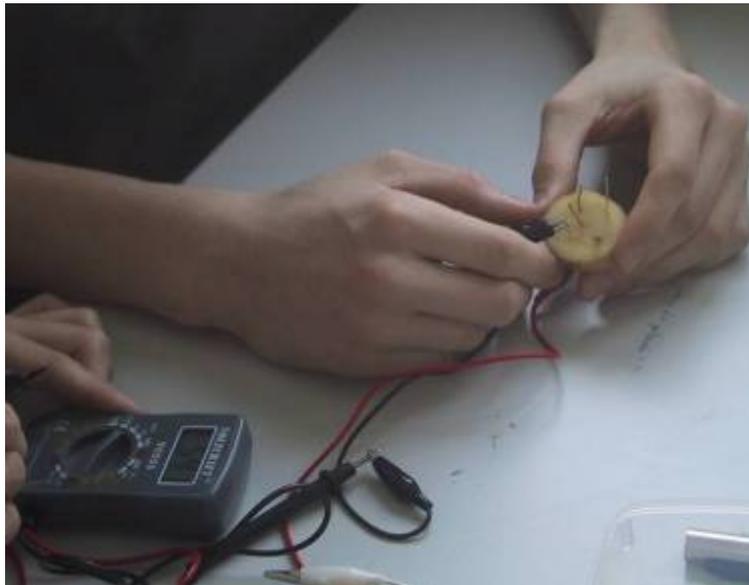


Abb. 7 Versuchsanordnung zur Spannungsreihe mit Kartoffelscheiben

Folgende Ergebnisse wurden beispielhaft erhalten:

+Pol / -Pol	Mg	Zn	Fe	Ni	Cu	Ag
Mg	0	-930	-1333	-1500	-1670	-1760
Zn	930	0	-520	-660	-777	-963
Fe	1333	513	0	-285	-380	-500
Ni	1500	660	285	0	-40	-157
Cu	1670	777	380	40	0	-150
Ag	1760	963	500	157	150	0

Der Vorteil liegt darin, dass auch experimentell weniger geschickte SchülerInnen brauchbare Resultate erhalten und auch, dass der Zeitaufwand wesentlich geringer ist, als beim Aufbau der Kette von Halbelementen, die weiter oben geschildert wurde.



Abb. 8 Kreative Variante eines Schülers

## 2.2 Elektrolyse

### 2.2.1 Chlor Alkali Elektrolyse

Als einer der wichtigsten technischen elektrochemischen Prozesse ist die Chlor Alkali Elektrolyse auf jeden Fall von Interesse. Didaktisch hat sie den Vorteil, dass hier eine Substanz zum Einsatz kommt, anhand derer meist exemplarisch die Ionenbindung erklärt wird, und deren Alltagsbezug mehr als offensichtlich ist.

Problematisch im Schülerversuch ist die Entstehung von elementarem Chlor, das ja alles andere als ungefährlich ist. Es muss also in kleinem Maßstab gearbeitet werden, um die Gefährdung von SchülerInnen auszuschließen, da es ja nicht möglich ist, eine Große Zahl von SchülerInnen im Abzug arbeiten zu lassen.

Die einfachste Variante der Durchführung ist die Elektrolyse im Tropfen, d.h. in einen Tropfen Salzlösung (mit Phenolphthalein versetzt) werden zwei Graphitelektroden eingetaucht. Es kommt sofort zu einer Gasentwicklung an beiden Elektroden, Chlorgeruch ist wahrnehmbar, an der Kathode verfärbt sich die Salzlösung. Nachteil dieser Variante ist, dass eine exakte Zuordnung der gebildeten Gase zu den Elektroden nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde hier eine etwas aufwändigere Variante gewählt.

Ein ca. 3 cm langer Abschnitt eines Trinkhalms mit 7mm Durchmesser wird mithilfe einer Stanze etwas kleineren Durchmesser (z.B. Fiskars Handmotivstanze Kreis  $\text{Ø}1\frac{1}{4}$ " ) zweimal in einem Abstand von ca. 3mm gelocht.



Abb. 9 Positionen der Löcher

Durch die Löcher werden zwei weitere ca. 3cm lange Abschnitte des Trinkhalms gesteckt. Dabei ist es hilfreich, ein Ende schräg abzuschneiden und erst anschließend

die Enden gerade zu schneiden. Anschließend werden mit einem heißen Draht unterhalb des Querbalkens zwei kleine Löcher (ca. 1mm Durchmesser) gebohrt (siehe Abbildung).

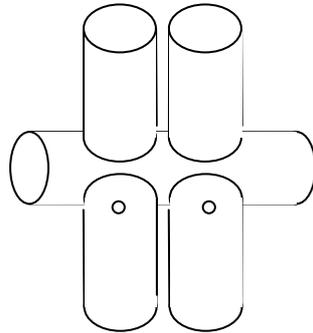


Abb. 10 Zusammenbau der Trinkhalme und Elektrodenpositionen

In diese Löcher werden zwei Elektroden eingeführt. Die Kathode besteht aus Edelstahl draht, die Anode ist eine Graphitelektrode. Dafür haben sich Minen für Druckbleistifte bewährt. Je weicher die Mine, umso höher ist der Graphitanteil und umso höher die Leitfähigkeit. Je größer der Durchmesser, umso weniger leicht brechen die Minen. Bewährt haben sich Minen des Durchmessers 0,7mm der Härte B. Um ein Abbrechen der Minen zu vermeiden ist es wichtig, das Loch nicht zu klein zu machen.



Abb.11 Elektrolyse mit Trinkhalmen

Ein Reaktionsgefäß einer großen Mikrotiterplatte (24 Reaktionsbehälter) wird mit Salzlösung gefüllt und mit einem Tropfen Phenolphthalein Lösung versetzt. In dieses Reaktionsgefäß wird die oben hergestellte Apparatur eingesetzt und an eine 9V Batterie angeschlossen. Von oben kann durch die Trinkhalme sofort die Gasentwicklung beobachtet und der Chlorgeruch wahrgenommen werden. Weiters zeigt sich unmittelbar die Verfärbung des Indikators durch Bildung von Natronlauge. Der entscheidende Vorteil gegenüber der Elektrolyse im Tropfen besteht darin, dass – infolge der Trennung der Elektrodenräume - auch eindeutig die Elektrode identifiziert werden kann, an der Chlorgas entsteht. Dazu wird ein mit Kaliumjodid/Stärke lösung getränk-

tes Filterpapier oben auf die Apparatur gelegt. Bereits nach kurzer Zeit zeigt sich eine intensive Verfärbung (blau/schwarz) über dem Trinkhalm der Anode und damit ist ein stark oxidierendes Gas (Chlor) einwandfrei nachgewiesen.

Die ganze Apparatur würde auch mit zwei Graphitelektroden funktionieren. Aus folgenden Gründen wurden zwei verschiedene Elektroden gewählt:

1. auch bei der technischen Umsetzung werden unterschiedliche Elektroden eingesetzt. (Anode Titan mit Rhutheniumoxid Beschichtung, Kathode: Stahl, Edelstahl oder Nickel)<sup>10</sup>
2. es ergibt sich dadurch die Möglichkeit, aus Fehlern zu lernen. (Beim Falschen Anschluss der Apparatur bildet sich kein Chlor sondern (hauptsächlich)  $\text{FeCl}_3$ , das unter Bildung eines Niederschlags zu  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  reagiert. Es ergibt sich dadurch eine Reihe von didaktisch wertvollen Anknüpfungspunkten. (Und ein Schüler macht immer diesen Fehler)

## 2.2.2 Knallgaszelle

Eine einfache Variante der Wasserelektrolyse wurde bereits ausführlich von Viktor Obendrauf beschrieben.<sup>11</sup> Es macht also keinen Sinn das Rad neu zu erfinden. Mit den hier verwendeten Materialien lässt sich aber mit geringem Aufwand eine Knallgaszelle bauen, mit der das Thema Wasserelektrolyse ebenfalls - wenn auch nicht in allen Aspekten – sehr rasch und einfach bearbeitet werden kann.

Aufbau:

In eine Einweg PE Pasteurpipette werden mit einem heißen Draht zwei Löcher an den markierten Stellen gemacht. Zwei Edelstahldrähte werden - wie aus der Abbildung ersichtlich - gebogen und durch die beiden Löcher eingeführt. Nun werden die Drähte mit jeweils einem Tropfen Heißkleber fixiert. Dabei wird die Apparatur auch abgedichtet.

---

<sup>10</sup> Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry sixth Edition 2002 Verlag Chemie Weinheim

<sup>11</sup> Viktor Obendrauf Plenarvortrag bei den VCÖ Chemietagen Linz 26.-28.März 2008 Universität Linz

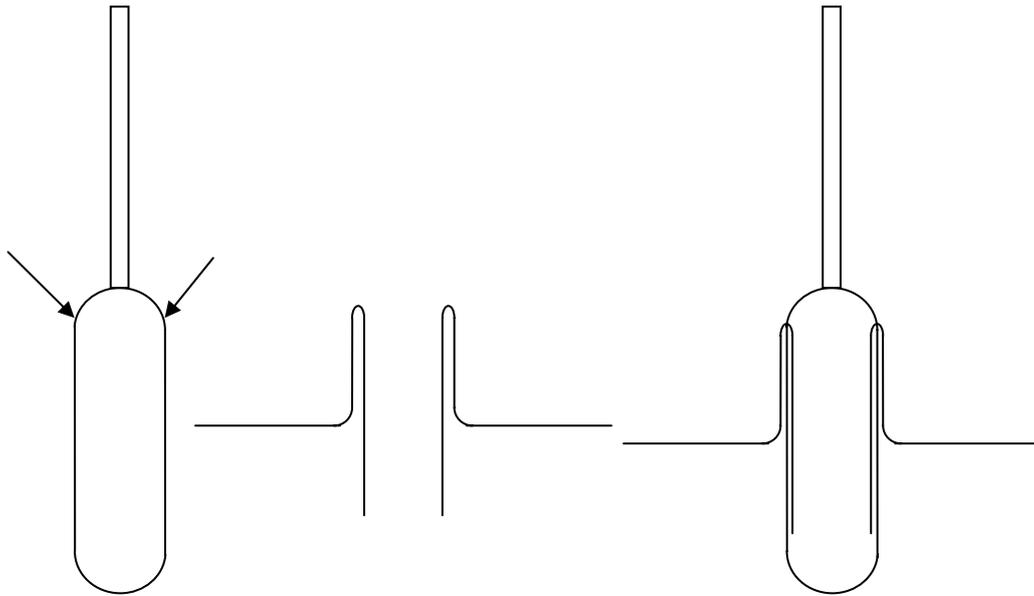


Abb. 12 Zusammenbau der Knallgaszelle

Nun wird die Zelle bis auf ein Volumen von ca. 0,5 ml mit einer gesättigten Sodalösung gefüllt.

Wie im folgenden Photo ersichtlich wird die Zelle in eine große Mikrotiterplatte gestellt. Der Hals wird umgebogen und in ein Reagenzgefäß gesteckt, das mit Seifenblasenlösung gefüllt ist. Anschließend wird eine Spannung angelegt. Als Stromversorgung dient – wie bei der Chlor Alkali Elektrolyse – eine 9V Batterie oder alternativ ein Steckernetzteil. Der Schaum enthält Knallgas, das mit einem Streichholz gezündet wird.

Eine ähnliche Apparatur mit Glaubersalz als Leitsalz und Stecknadeln als Elektroden ist auf youtube zu sehen.<sup>12</sup> Der Nachteil liegt in der geringeren Leitfähigkeit der Glaubersalzlösung und zumindest manchmal in der schlechten Beständigkeit der Stecknadeln (schlechte Beschichtung) sowie der größeren Kurzschlussgefahr bedingt durch die Elektrodenanordnung.

<sup>12</sup> <http://de.youtube.com/watch?v=zpDvnd2nSzl> 7.7.08



Abb. 13 Knallgaszelle im Einsatz

Wie aus der Abbildung ersichtlich verfärbt sich beim Einsatz hoher Elektrolysespannungen (ab ca. 5V) die Sodalösung zunächst rosa, dann violett. Dies ist auf den Mangangehalt des Edelstahl zurückzuführen, der unter Bildung von Permanganationen herausgelöst wird. Dies stört den weiteren Verlauf nicht, da sich diese Reaktion nur in kleinem Maßstab abspielt, muss aber erklärt werden (auch ein brauchbarer Ansatzpunkt zum Thema anodische Oxidation). Vermeiden ließe sich das durch die Verwendung von z.B. Nickelelektroden, deren kostengünstige Bereitstellung aber problematisch ist.<sup>13</sup> (Wenn man eine hellblaue Lösung bevorzugt kann man Kupferelektroden verwenden ☺.)

## 2.3 Elektrochemische Stromerzeugung

### 2.3.1 Danielle Element

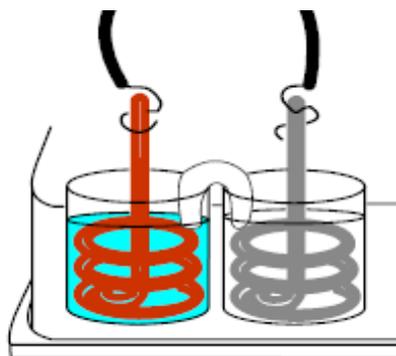


Abb. 14 Danielle Element aus der Materialsammlung der Universität Witwatersrand Johannesburg entnommen.<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Viktor Obendrauf Plenarvortrag bei den VCÖ Chemietagen Linz 26.-28.März 2008 Universität Linz

<sup>14</sup> <http://www.radmaste.org.za/amicrosciencematerialchemistry.htm>

Natürlich lässt sich das Daniell Element wie bei der Spannungsreihe geschildert mit zwei kleinen Drahtstücken in der kleinen Mikrotiterplatte realisieren. Eine solche Zelle liefert aber aufgrund der extrem geringen Elektrodenoberfläche fast keinen Strom. Die obige Abbildung zeigt, wie sich das Daniell Element in der großen Mikrotiterplatte auch in einer etwas belastbaren Variante realisieren lässt. Ein Kupferdraht und ein verzinkter Eisendraht werden zu Spulen geformt, die jeweils in eines der 3ml Gefäße der großen Mikrotiterplatte tauchen. Den Stromschlüssel bildet eine Watteschnur getränkt mit gesättigter  $\text{KNO}_3$  Lösung. In den Behältern befindet sich jeweils Kupfer und Zinksulfat der Konzentration 0,5 mol/l. Im Idealfall kann so ein Strom von einigen mA produziert werden, der in der Lage ist, einen Motor anzutreiben. Wird das Daniell Element kurzgeschlossen, so kann man die Veränderungen an den Elektroden beobachten und erhält so eine anschauliche Vorführung der Elektrodenreaktionen.

### 2.3.2 Leclanché Element

Es gibt eine Reihe von Vorschlägen für den Aufbau eines Leclanche Elements im Schülerexperiment. Probleme die dabei auftreten – wenn man eine wirklich funktionstüchtige Batterie bauen will – liegen häufig in der Kontaktierung des Braunsteins. Hier wurde eine Variante entwickelt, die nicht nur sehr kostengünstig ist, sondern auch in der Lage ist, ausreichend Strom zu liefern, um z.B. einen Motor anzutreiben.

Dazu wird eine Kohleelektrode (Bleistiftmine) auf ein Filterpapier (oder auch z.B. Küchenrolle) gelegt und mit einer Mischung aus 50% Braunstein (min. 85%  $\text{MnO}_2$ ) und 50% Graphit (Volumsteile) bestreut. Das Papier wird einmal umgeschlagen und fest um die Kohleelektrode gewickelt. Anschließend wird das Ganze fest mit einem verzinkten Eisendraht umwickelt. Dieser sorgt durch mechanischen Druck einerseits für die Kontaktierung und bildet auf der anderen Seite auch die Zinkelektrode. Das so erhaltene Gebilde wird nun in eine 20%ige Ammoniumchloridlösung getaucht und ist damit einsatzbereit. Mit einer derartigen Batterie kann beispielsweise auch ein kleiner Elektromotor angetrieben werden. Lässt man diese Batterie trocknen, so ist sie über mehrere Monate lagerfähig und kann durch Eintauchen in Wasser jederzeit wieder reaktiviert werden.

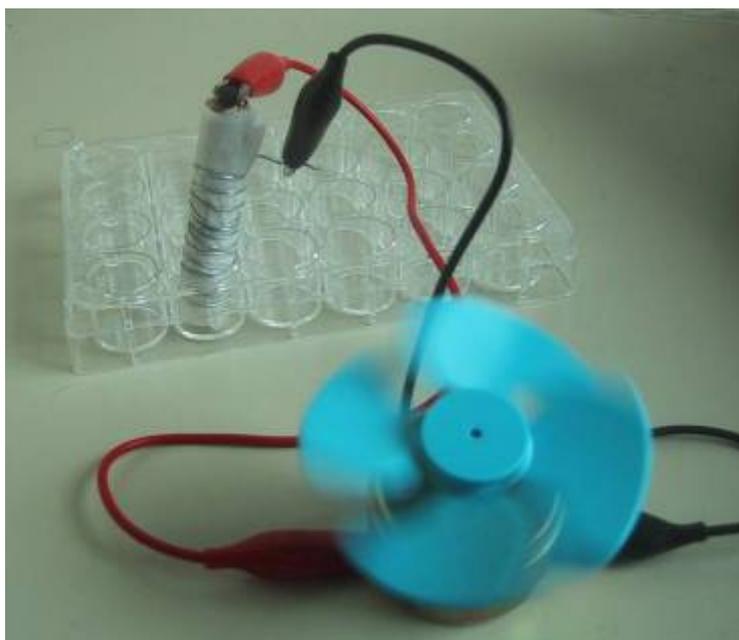


Abb. 15 Leclanche Element mit verzinktem Eisendraht als Elektrode

### 2.3.3 Akkumulatoren

Prinzipiell ist der Aufbau eines Bleiakкумуляtors auch mit den hier verwendeten Methoden realisierbar. In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von 30%iger Schwefelsäure allerdings problematisch. Alternativen dazu konnten bislang nicht gefunden werden. Das heißt dieser Bereich muss über ein Demonstrationsexperiment abgedeckt werden.

### 2.3.4 Brennstoffzelle

Es wurde untersucht, ob die Prinzipien der „no-cost“ Brennstoffzelle<sup>15</sup> basierend auf Scherfolien von Braun Rasieren als Elektroden in diesem Rahmen eingesetzt werden kann, aber die erhaltenen Ergebnisse waren zu wenig ermutigend, um in diese Richtung weiter zu arbeiten. Die Verkleinerung des Maßstabs bewirkt natürlich eine Verkleinerung der Elektrodenflächen, und da sich die Stromdichte nicht ohne weiteres erhöhen lässt wird die Leistung der Brennstoffzellen relativ rasch extrem gering. Ähnliches geschieht auch beim Einsatz poröser Kohlelektroden, die in großem Maßstab vernünftige Resultate liefern, aber im kleinen Maßstab kaum messbare Leistungen liefern. Es erscheint also sinnvoll, die Brennstoffzelle ebenfalls als Demonstrationsexperiment zu präsentieren.

---

<sup>15</sup> M. W. Tausch, C. Bohrmann, M. Seesing: "Eine no-cost Brennstoffzelle", Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 51 (6), 43 (2002)

## **3 EVALUATION**

Zwei Aspekte sind bei der Evaluation zu berücksichtigen

Erstens die Erreichung der gesteckten Ziele und Zweitens die Akzeptanz der SchülerInnen und die Erfahrungen im Unterricht.

### **3.1 Zielerreichung**

Die gesteckten Ziele wurden nahezu 100 %ig erreicht. Hier anhand der einzelnen Punkte erläutert:

#### **3.1.1 Einfachheit in Aufbau und Durchführung**

Hier muss jedes Experiment einzeln besprochen werden: Am schwierigsten ist mit Sicherheit die Durchführung der elektrochemischen Spannungsreihe mit den Mikrotiterplatten. Neben den Verwechslungsmöglichkeiten, die sich ergeben, stellt auch das hantieren mit den kleinen Teilen eine Herausforderung an die Geschicklichkeit dar, die jedoch von den meisten SchülerInnen bewältigt werden kann. Außerdem kann das Experiment mit geringem Aufwand ohne Reinigungsarbeiten zwischendurch in der nächsten Reihe der Mikrotiterplatten wiederholt werden, falls ein Fehler gemacht wurde.

Überhaupt keine Probleme hatten die SchülerInnen mit der Spannungsreihe mit den Kartoffelscheiben.

Der Aufbau der Apparaturen für Chlor Alkali Elektrolyse bzw. Knallgaszelle ist problemlos, wenn es vorher vorgezeigt wird und anschließend die SchülerInnen mit Schwierigkeiten direkt betreut werden. Der Zeitaufwand liegt bei ca. 15 min. für die ganze Klasse.

Ebenfalls kaum Schwierigkeiten waren beim Aufbau von Daniell Element und Leclanche Element zu beobachten.

#### **3.1.2 Sicherheit**

Durch die Vermeidung gefährlicher Stoffe und die geringen Chemikalienmengen bleibt nur ein sehr geringes Restrisiko. Durch die Verwendung Nickelhaltiger Materialien besteht das Risiko allergischer Reaktionen, das aber den betroffenen meist bekannt ist und daher vermieden werden kann.

#### **3.1.3 kurze Vor- und Nachbereitungszeit**

Wenn die Materialien einmal zusammengestellt sind beschränkt sich Vor- und Nachbereitung auf das Nachfüllen verbrauchter Lösungen bzw. auf kurze Reinigungsarbeiten.

#### **3.1.4 Abdeckung der wesentlichen Bereiche**

Zu allen wesentlichen Bereichen der Elektrochemie können mit den vorliegenden Materialien Versuche durchgeführt werden. Lücken gibt es bei den Bereichen Akkumulatoren und Brennstoffzelle.

### **3.1.5 Geringe Kosten**

Die Kosten der hier verwendeten Materialien (siehe Anhang) liegen weit unter den Kosten kommerziell erhältlicher Sets, ohne in der Vielfalt der Experimente eingeschränkt zu sein.

### **3.1.6 Kompatibilität zu vorher erarbeiteten Materialien**

Bis auf die als Elektrodenmaterial verwendeten Drähte wurden alle Materialien bereits in den Vorgängerprojekten eingesetzt. Die Kompatibilität ist also gegeben.

## **3.2 Erfahrungen im Unterricht und Akzeptanz**

### **3.3 Beobachtungen**

Die Erfahrungen in der praktischen Umsetzung waren durchwegs gut. Kommentare wie „So sollte der Unterricht immer aussehen“ oder ähnlich deuten darauf hin, dass Schülerexperimente ganz allgemein eine Möglichkeit sind, die Akzeptanz des Unterrichts zu steigern. Das geht nicht notwendigerweise mit einer Verbesserung des Unterrichtsergebnisses einher, erleichtert aber das Unterrichten vor allem in stark leistungsheterogenen Klassen. Schwache SchülerInnen können zumindest den praktischen Teil des Experiments mehr oder weniger gut durchführen und stärkere können ihre Stärken bei der Interpretation der Ergebnisse ausspielen. Ebenfalls zu erwarten war, dass Experimente wie die Knallgaszelle mit größerem Enthusiasmus aufgenommen wurden, als z.B. Experimente zur Spannungsreihe.

Dennoch zeigt eine Beobachtung die besonders hohe Akzeptanz dieser Form von Schülerexperimenten. Jeder Lehrer weiß, wie schwierig es ist, am Schulschluss in der Phase nach der Konferenz, wenn alle Noten bereits feststehen, sinnvollen Unterricht durchzuführen. Zwei der hier vorgestellten Experimente (Spannungsreihe mit Kartoffelscheiben und Knallgaszelle) wurden unter diesen erschwerten Bedingungen durchgeführt und es zeigte sich, dass alle SchülerInnen ausnahmslos voll bei der Sache waren und die anschließende theoretische Erläuterung des Hintergrunds mit voller Aufmerksamkeit verfolgten.

Eine interessante Beobachtung wurde bei den Experimenten zur Knallgaszelle in gemischten Klassen gemacht (am TGM gibt es aufgrund des Burschenanteils von 90% nur wenige gemischte Klassen und meist reine Burschenklassen.)

Hier wurden beim „Wettbewerb um den lautesten Knall“ zwei verschiedene Lösungsstrategien beobachtet: Die einen versuchten durch Verwendung mehrerer Batterien, die in Serie oder parallel geschaltet wurden, mehr Knallgas und damit einen lautereren Knall zu erzeugen, die anderen benutzten mehrere Apparaturen, die in ein Gefäß einleiteten um so mehr Knallgas zu erzeugen. Interessanterweise wurde die erste Strategie ausschließlich von Burschen verfolgt, während die zweite Strategie überwiegend von Mädchen angewandt wurde. Es war die übrigens der einzige Geschlechtsspezifische Unterschied der beobachtet werden konnte.

### 3.4 SchülerInnenbefragung

Folgende Fragen waren mit einer Schulnotenskala (1-5) zu beantworten:

Ich interessiere mich für Dinge die wir in Chemie lernen	2,9
Ich interessiere mich für Dinge die wir mit Schülerexperimenten lernen	2,3
Ich finde den Unterricht, so wie er normalerweise stattfindet gut	2,5
Ich finde den Unterricht, wie er bei Schülerexperimenten stattfindet gut	1,8
Mir fällt Chemie leicht	3,3
Ich bin für Chemie begabt	3,6
Ich habe Spaß am Chemieunterricht	2,7
Ich habe Spaß an Schülerexperimenten	2,1
Ich bringe gute Leistungen in Chemie	3,1

Anhand dieser Ergebnisse zeigt sich die Tendenz der Beobachtungen bestätigt. Trotz einer problematischen Ausgangslage (Begabung wird mit 3,6 schlecht eingeschätzt) führt also die Durchführung von Schülerexperimenten zu einer – im Vergleich zum Normalunterricht – deutlich verbesserten Motivationslage.



Die notwendigen Erweiterungen bestehen in erster Linie aus den Elektrodenmaterialien. Empfehlenswert ist auch ein Elektromotor mit einem möglichst geringen Anlaufstrom (Solarmotor)

### **4.3 Mögliche weitere Entwicklungen**

Obwohl ein großer Bereich der Grundlagen der Elektrochemie mit den hier getesteten Materialien abgedeckt werden kann bleiben noch einige Bereiche, in denen ebenfalls Schülerexperimente wünschenswert sind bestehen:

Es sind dies:

- Galvanotechnik
- Brennstoffzelle
- Akkumulatoren

Der Hauptgrund dafür liegt darin, dass in diesen Bereichen entweder der Maßstab eine Rolle spielt (z.B. Elektrodenoberfläche bei der Brennstoffzelle) oder die Verwendung gefährlicher Chemikalien ein Problem darstellen (z.B. 30%ige Schwefelsäure beim Bleiakku)

Hier sind wahrscheinlich neue originelle Ansätze erforderlich.

# LITERATUR

[www.smallscalechemistry.colostate.edu](http://www.smallscalechemistry.colostate.edu) (7.7.08)

[dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html](http://dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html) (7.7.08)

[www.radmaste.org.za](http://www.radmaste.org.za) (7.7.08)

[http://www.conatex.com/shop/product\\_info.php?cPath=1933\\_2057\\_2058&products\\_id=2059](http://www.conatex.com/shop/product_info.php?cPath=1933_2057_2058&products_id=2059) (19.4.08)

<https://shop.phywe.de/prod/de/452/422453/elektrochemie-messplatz.html> (29.6.08)

<http://www.microchem.de/dillingen.html> (19.4.08)

Stephen Thompson; Chemtrek; Prentice Hall New Jersey 1990

A. Sottriffer, Zeitsparende und kostengünstige Schülerexperimente, Chem.Sch. (Salzbg.) 22(2007), Nr. 2 S. 16-19

A. Sottriffer, Die Einweg- Destillationsapparatur, Chem. Sch.(Salzbg.) 22(2007) Nr. 3 S. 13-14

<http://dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale30.html> (7.7.08)

Ullmann´s Encyclopedia of Industrial Chemistry sixth Edition 2002 Verlag Chemie Weinheim

Viktor Obendrauf Plenarvortrag bei den VCÖ Chemietagen Linz 26.-28.März 2008 Universität Linz

<http://de.youtube.com/watch?v=zpDvnd2nSzl> (7.7.08)

Viktor Obendrauf Plenarvortrag bei den VCÖ Chemietagen Linz 26.-28.März 2008 Universität Linz

<http://www.radmaste.org.za/amicrosciencematerialchemistry.htm> (7.7.08)

M. W. Tausch, C. Bohrmann, M. Seesing: "Eine no-cost Brennstoffzelle", Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 51 (6), 43 (2002)