

Mit diesen Versuchsergebnissen kann gezeigt werden, dass die poröse Kohlelektrode ein für einen Modellversuch geeignete Gasdiffusionselektrode darstellt. Durch den Sauerstoffumsatz in dieser Elektrode kann die Spannung bei einer Stromstärke von 35 mA von etwa 1,9 V bei der Silberkathode auf 1,1 V herabgesetzt werden. Das bedeutet bei der zweifellos relativ geringen Stromstärke von 35 mA eine Einsparung elektrischer Energie von 42 %.

Ausblick

Inzwischen hat die Sauerstoffverzehrkathode auch in der Chlor-Alkali-Elektrolyse Eingang gefunden. Die Bayer AG hat kürzlich eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 20 000 Tonnen Chlor im Jahr an ihrem Standort Uerdingen in Betrieb genommen [9]. Bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse sind allerdings einige zusätzliche Schwierigkeiten zu überwinden. So kann die Sauerstoffverzehrkathode nicht di-

rekt auf der Membran aufliegen. Bei der Sauerstoffreduktion werden nun nicht die schnell durch die Membran transportierten Wasserstoff-Ionen benötigt, sondern Wassermoleküle, so dass sich Hydroxid-Ionen bilden. Gleichzeitig müssen durch die Membran Natrium-Ionen geschleust werden, so dass sich im Raum zwischen Membran und Sauerstoffverzehrkathode Natronlauge bildet [1]. ■

Literatur

- [1] J. Jörissen, T. Turek, R. Weber, Chlorherstellung mit der Sauerstoffverzehrkathode in der Chlor-Alkali-Elektrolyse, *Chem. Unserer Zeit*, 2011, 45, 172–183
- [2] chempunkt, Dr. Fritz Gerstermann: Mit Fleiß und Leidenschaft zur Weltneuheit, <http://www.chempunkt.de>
- [3] Bayer-research, Ausgabe 16, 44–47 (2004)
- [4] W. Jansen, Salzsäureelektrolyse mit der Sauerstoffverzehrkathode. *Chemkon* 12, 87 (2005)

[5] J. Kintrop, Gasdiffusionselektroden in der Elektrolyse, Bayer Material Science 2006 <http://www.aktuelle.wochenschau.de>

[6] BDI, Bayer erhält Umweltpreis für Sauerstoffverzehrkathoden-Technologie, <http://www.process.vogel.de>

[7] W. Glöckner, W. Jansen, R. G. Weissenhorn, (Hrsg.), *Handbuch der Experimentellen Chemie. Band 6: Elektrochemie* (Hrsg. W. Jansen) Aulis Verlag Köln (1994)

[8] M. Ducci, M. Oetken, Strom aus der Bierdose, *PdN-Chemie* 1, 49, S. 23 (2000)

[9] W. Jansen, Sauerstoffverzehrkathode in der Chlor-Alkali-Elektrolyse. *Chemkon* 18, 199 (2011)

Anschrift der Verfasser

Pierre Fischer, Maïke Busker und Walter Jansen, Universität Flensburg, Abteilung für Chemie, Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg

Die Zitronenbatterie

Ein einfacher elektrochemischer Versuch?

L. Bröll, J. Friedrich und M. Oetken

Stichwörter: Zitronenbatterie, Schülervorstellungen, Sauerstoffkorrosion, Unterrichtsverfahren

1 Alltagsphänomene und Schülervorstellungen

Alltagsbeispiele in den Unterricht zu integrieren, bietet vor allem zwei wesentliche Vorteile. Von ihnen geht ein hohes Motivationspotential aus und es ist möglich, den Chemieunterricht in einer kontextorientierten Weise zu gestalten und so den Schülern alltagsrelevantes Wissen zu vermitteln. Allerdings können dabei auch Probleme entstehen, wenn die Phänomene nicht richtig erklärt werden können, weil die Schüler noch nicht über das fachliche Hintergrundwissen verfügen, welches benötigt wird, um die Erklärung fachwissenschaftlich korrekt zu verstehen oder aber, wenn falsche Vorstellungen über den Kontext aus dem Alltag oder aus dem bisherigen Unterricht ein naturwissenschaftlich korrektes Lernen erschweren bzw. behindern.

An der Pädagogischen Hochschule Freiburg wurde aus diesem Grund das an Schülervorstellungen orientierte Unter-

richtsverfahren (vgl. Abb. 1) entwickelt. Zentraler Baustein hierbei ist die Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen, wobei dies auf experimenteller sowie modellhafter Ebene geschehen soll [1]. Neuere didaktische Ansätze verfolgen dabei nicht mehr das Ziel, Konzepte, die sich im Alltag durchaus bewährt haben, auszumerzen, sondern es geht vielmehr darum, den Schülern aufzuzeigen, dass naturwissenschaftliche Theorien eine größere Erklärungsmächtigkeit haben als Alltags-theorien. Die Schüler sollen erkennen, dass ihre Alltagsvorstellungen einen beschränkten Gültigkeitsbereich aufweisen und zur Erklärung bestimmter naturwissenschaftlicher Phänomene nicht ausreichen und dass daher naturwissenschaftliche Vorstellungen, mit denen diese Phänomene adäquat beschrieben werden können, zu Rate gezogen werden müssen [2]. In der Schulpraxis zeigt sich aber, dass der Umgang mit Schülervorstellungen schwer ist: Zum einen sind Schülervorstellungen häufig nicht direkt zu beobachten, sondern nur in ihren Auswirkungen wahrnehmbar [3]. Zudem wissen viele Lehrpersonen nicht, wie sie bei der Ver-

mittlung des Lehrstoffs mit Fehlvorstellungen umgehen sollen [4]. Hier soll das oben erwähnte Unterrichtsverfahren Abhilfe schaffen.

Vom Aufbau her gliedert sich das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren in drei Schritte:

Motiviert durch Alltagsbeispiele, -fragen oder verblüffende Versuche formulieren die Schüler ihre Erklärungsansätze zu dem jeweiligen Thema. In einem nächsten Schritt wird die Thematik fachwissenschaftlich aufgearbeitet und die fachlich korrekte Erklärung festgehalten. Da Fehlvorstellungen oftmals tief verwurzelt sind und in den Köpfen der Lernenden weiter neben den fachwissenschaftlich korrekten Erklärungsansätzen bestehen bleiben, sollen sich die Schüler in einer dritten Phase intensiv mit den Fehlvorstellungen beschäftigen. Somit soll erreicht werden, dass die Schüler die Problematik der falschen Vorstellung und die größere Erklärungsmächtigkeit der korrekten Erklärung erkennen.

Im Artikel wird eine Unterrichtseinheit vorgestellt werden, bei der die der Zitronenbatterie zugrunde liegenden Vorgänge

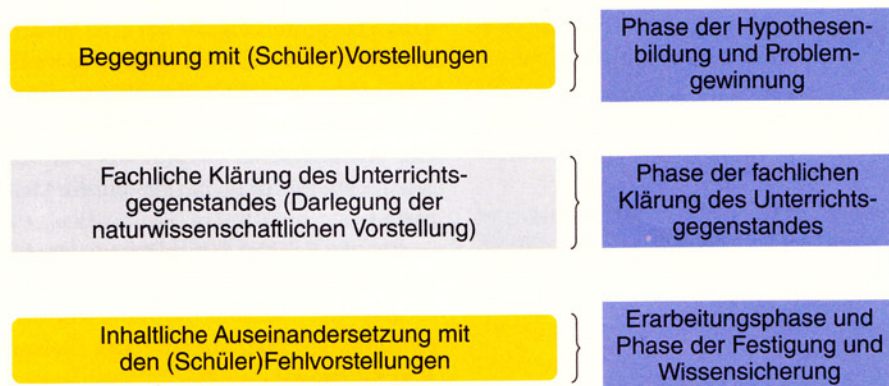


Abb. 1: Verkürztes Schema des an Schülervorstellungen orientierten Unterrichtsverfahrens

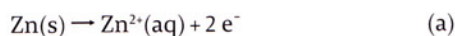
erarbeitet und vorhandene falsche Erklärungsansätze aufgedeckt werden können.

2 Die Zitronenbatterie

Die Zitronenbatterie ist ein Beispiel für einen Energielieferanten mit Materialien aus dem Alltag, welcher im Unterricht oftmals thematisiert wird, wenn elektrochemische Batteriesysteme und Korrosionsvorgänge behandelt werden. Obwohl curricular gesehen in der Sekundarstufe II verortet, wird dieser Versuch auch in Experimentierbüchern für Kinder und in TV-Sendungen wie „Die Sendung mit der Maus“ oder „Wissen macht Ah!“ oft beschrieben und gezeigt [5]. Aber auch in naturwissenschaftlichen Museen oder Ausstellungen wird dieser Versuch oft vorgeführt, denn es handelt sich um einen einfachen, aber zugleich attraktiven Versuch, der viel Motivation und Interesse erzeugt, vielleicht deshalb, weil die Zitrone ein Naturprodukt ist, trotzdem aber als Batterie verwendet werden kann. Dabei werden in eine Zitrone eine Zink- und eine Kupferelektrode gesteckt und diese leitend miteinander verbunden (vgl. Abb. 2). Ein dazwischen geschalteter Verbraucher zeigt, dass ein elektrochemisches Element entstanden ist.

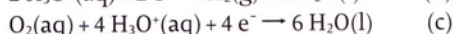
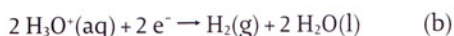
Recherchiert man in der Fachliteratur sowie im Internet nach Erklärungsansätzen für die Zitronenbatterie, so findet man zahlreiche Erklärungsansätze, deren fachliche Richtigkeit jedoch nicht immer gegeben ist.

Darüber, dass an der Anode das unedlere Metall Zink in Lösung geht (vgl. Gleichung (a)), herrscht in der Literatur Einigkeit.

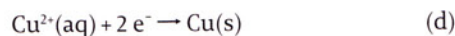


Je nachdem, in welches Fachbuch man blickt, findet man für die Abläufe an der Kathode unterschiedliche Erklärungsansätze:

- Es scheiden sich Spuren von Wasserstoff ab, d. h. es findet eine Säurekorrosion statt (vgl. Gleichung (b), [6, 7, 8]).
- Der Sauerstoff in der Lösung reagiert mit den Protonen der Säure zu Wasser (vgl. Gleichung (c)). Da es sich um eine Zink/Kupfer-Zelle in saurem Elektrolyten handelt, findet zusätzlich auch eine Säurekorrosion statt (vgl. Gleichung (b), [9]).



Aber auch die Erklärung, dass Kupferionen reduziert werden (vgl. Gleichung (d)), findet sich in der Literatur [10]. Dies ist eine Vorstellung, die auch bei vielen Studierenden vorzufinden ist, vgl. [11]. Hier wird wohl oftmals eine Verbindung zum Daniell-Element, dem klassischen Kupfer/Zink-Element, in dem Kupfer- und Zinkblech in die zugehörige Salzlösung eintauchen, geknüpft.



Betrachtet man nicht nur die Elektrodenvorgänge, sondern recherchiert allgemein nach Erklärungsansätzen für die Zitronenbatterie, dann finden sich zahlreiche weitere falsche Erklärungsansätze. So wird beispielsweise beschrieben, dass die Elektronen von der Kupferelektrode durch den Saft der Zitrone hindurch zur Zinkelektrode wandern [12] oder dass die Elektronen aus der Säure der Zitrone stammen und von den beiden Metallen unterschiedlich stark angezogen werden [13].

Resümierend kann man festhalten, dass es für diesen in der Durchführung sehr einfachen Versuch nicht trivial ist, den richtigen Erklärungsansatz zu finden. Vielmehr liegen zahlreiche Erklärungsansätze zu diesem Versuch vor, die eine Vielzahl von Fehlvorstellungen aufweisen.

Diese Rechercheergebnisse waren Anlass für eine Untersuchung, bei der herausgearbeitet werden sollte, wie Schüler der gymnasialen Kursstufe, die die Themen Elektrochemie und Korrosion (Sauerstoff- und Säurekorrosion) bereits behandelt haben, sich die Funktionsweise der Zitronenbatterie erklären.

3 Empirische Untersuchung zu Erklärungsansätzen der Zitronenbatterie

3.1 Der Fragebogen

Im Rahmen einer quantitativen empirischen Untersuchung wurde ein Fragebogen entwickelt. Dieser wurde in Gesprächen mit Chemie-Fachdidaktikern der Pädagogischen Hochschule validiert. Die Probanden sollten die Funktionsweise der Zitronenbatterie erklären und dabei auf folgende vier Aspekte eingehen:

- Wie entsteht der Stromfluss bei der Zitronenbatterie?
- Welche chemischen Reaktionen laufen an den Elektroden ab?
- Welche Elektrode ist die Anode, welche die Kathode? Welche Elektrode ist der Minuspol, welche der Pluspol?
- Wie verläuft der Elektronenfluss?

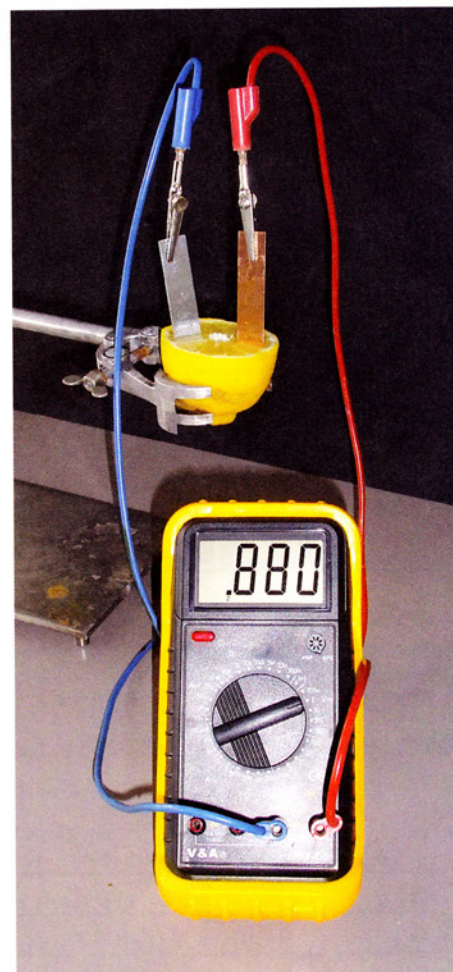
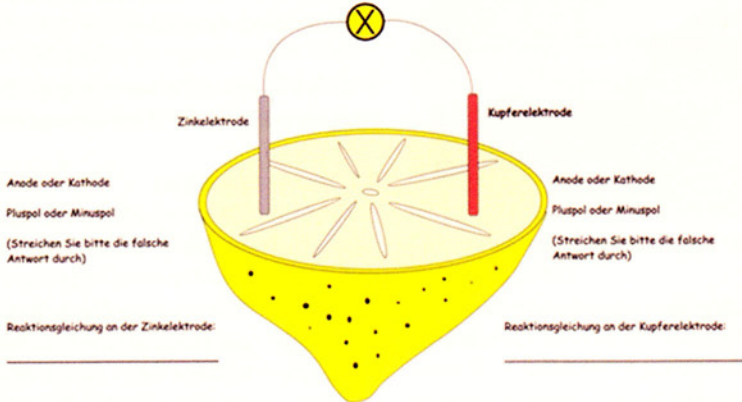


Abb. 2: Die Zitronenbatterie

Die Zitronenbatterie

Eine Zink- und eine Kupferelektrode werden mit einem Lämpchen verbunden. Sobald man die Elektroden in die Zitrone steckt, leuchtet das Lämpchen auf (vgl. Versuchsaufbau).



- a) Wie entsteht der Strom, den das Lämpchen benötigt, um zu brennen?
- b) Tragen Sie in die obige Zeichnung die Reaktionsgleichungen, die an der Kupfer- und der Zinkelektrode ablaufen, ein.
- c) Benennen Sie die Elektroden mit den Begriffen Anode bzw. Kathode sowie Pluspol bzw. Minuspol.
- d) Zeichnen Sie die Richtung des Elektronenflusses ein.

Abb. 3: Auszug aus dem Fragebogen

Die Beantwortung der Fragen verlief dabei offen, es gab also keine vorgefertigten Antworten zum Ankreuzen. Der Fragebogen wurde so konzipiert, dass die Probanden ihn in maximal 15 Minuten bearbeiten konnten.

3.2 Die Stichprobe

Im Schuljahr 2010/2011 wurden 100 Schüler der gymnasialen Kursstufe (13. Klasse) aus Freiburg befragt. Diese Schüler hatten die Themen Elektrochemie und Korrosion (Säure-/Sauerstoffkorrosion) im Unterricht bereits behandelt. Die Schüler wa-

ren zwischen 18 und 20 Jahre alt. 81% der Befragten hatten in der Kursstufe Chemie als 2-stündiges, 18% als 4-stündiges Fach gewählt.

4 Ergebnisse der empirischen Untersuchung

4.1 Die Entstehung des Stromflusses

Als Erklärung für das Zustandekommen eines Stromflusses wurde erwartet, dass die befragten Schüler erwähnen, dass Zink unedler als Kupfer ist und aus diesem Grund in die Zitrone eingetaucht

ein stärkeres Bestreben zur Oxidation bzw. Elektronenabgabe hat. Die Elektronen fließen durch den Draht zur Kupferelektrode. Innerhalb der Zitrone findet ein Ladungsausgleich statt. Somit liegt ein geschlossener Stromkreis vor. Der Musikchip (Verbraucher) spielt die Melodie ab.

13% der Schüler formulierten eine analoge, richtige Erklärung (vgl. Abb. 4).

63% der Schüler formulierten unvollständige Erklärungen (vgl. Beispiel Abb. 5).

Insgesamt können 24% der Schüler sich nicht erklären, wie der Stromfluss in der Zitronenbatterie zustande kommt. In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Erklärungsansätze detaillierter dargestellt.

4.2 Ablaufende Reaktionen an den beiden Metallelektroden

An der Anode wird elementares Zink zu Zn^{2+} -Ionen oxidiert ($Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2 e^-$). Eine entsprechende Reaktionsgleichung konnten über die Hälfte (65%) der befragten Schüler richtig formulieren. 16% der Schüler machten den Fehler, eine Reduktion von Zn^{2+} -Ionen zu elementarem Zink zu formulieren. Die übrigen 19% formulierten falsche Reaktionsgleichungen oder konnten gar keine Reaktionsgleichung formulieren (vgl. Tab. 2).

Neueste Untersuchungen [14] haben gezeigt, dass die Hauptreaktion an der Kathode die Reduktion des Sauerstoffs ist. Es zeigt sich, dass lediglich 6% der Schüler eine Reaktion nach Reaktionsgleichung (c) formulierten. Der Großteil der Schüler (56%) formulierte die Reduktion von Cu^{2+} -Ionen zu elementarem Kupfer als Kathodenreaktion (vgl. Tab. 3).

4.3 Oxidation und Reduktion, Anode und Kathode

Das Zinkblech ist bei diesem Versuch die Anode, denn hier findet die Oxidation statt. Den Begriff Anode konnten 74% der Schüler richtig zuordnen. Dass die Anode in diesem Fall der Minuspol ist, da bei der Zitronenbatterie ein Galvanisches Element vorliegt, wussten 75% der Schüler.

Das Kupferblech bildet folgerichtig die Kathode. Auch das war 72% der Schüler klar. Dass die Kathode in diesem Fall der Pluspol ist, konnten 76% der Schüler richtig angeben.

4.4 Der Elektronenfluss

In einem letzten Schritt sollten die Befragten den Elektronenfluss einzeichnen. Der Tabelle 4 sind die Ergebnisse zu entnehmen.

Zink geht in Lösung und spaltet $2 e^-$ ab, die über den Verbraucher, der dadurch in Betrieb gesetzt wird, zur Kupferelektrode wandern. Hier werden sie durch Protonen bzw. Hydronium aufgenommen. Die Ladungen werden durch wandelnde Ionen ausgeglichen.

Abb. 4: Beispiel einer korrekten Schülerantwort

Elektroden spalten sich vom Zinkstab ab. Die frei gewordenen Elektronen fließen zur Cu-Elektrode.

Abb. 5: Beispiel einer unvollständigen Erklärung

5 Konsequenzen

Es zeigt sich, dass zu diesem in der Durchführung so einfachen Versuch zahlreiche Fehlvorstellungen existieren, die darauf zurückzuführen sind, dass die Inhalte der Elektrochemie, insbesondere aber auch Batteriesysteme, nicht richtig verstanden wurden bzw. es den Schülern schwer fällt, die gelernten Inhalte auf einen anderen Kontext zu übertragen.

Um all diesen Fehlvorstellungen adäquat zu begegnen, wurde eine Unterrichtseinheit für Schüler der gymnasialen Kursstufe entwickelt, in der die Schüler die elektrochemischen Abläufe bei der Zitronenbatterie herausarbeiten und sich zudem mit falschen Erklärungsansätzen aus dem Internet sowie Schülerfehlvorstellungen zu der Thematik auseinandersetzen. Curricular einzusetzen ist die Einheit im Anschluss an die Behandlung elektrochemischer Prozesse im Unterricht.

6 Die Unterrichtseinheit

Der Einstieg in die als vierstündige Unterrichtssequenz geplante Einheit geschieht über einen Zeitungsartikel, der in der Presse erschienen ist und der sich mit der Funktionsweise der Zitronenbatterie beschäftigt [15]. Ausgangspunkt der Pressemitteilung ist eine Schulpartnerschaft, bei der Schüler der gymnasialen Oberstufe mit Grundschulkindern zum Thema Strom experimentieren und in diesem Kontext auch die Zitronenbatterie durchführen. Das beobachtete Phänomen wird von den Gymnasiasten wie folgt erklärt: „... die Kinder wandern vom bösen Papa Zinkblech, der seinen Nachwuchs loswerden will, durch den Zitronensaft zum lieben Papa Kupferblech ...“ (vgl. Abb. 6).

Wie bereits erläutert sollen die Schüler nun über diesen Erklärungsansatz diskutieren und eigene Erklärungsansätze vorstellen.

In der nächsten Phase wird das Phänomen der Zitronenbatterie von den Schülern experimentell untersucht. Dazu stecken die Schüler die jeweils eine Zink- und Kupferelektrode einen Zentimeter tief in die Zitrone und messen für eine Dauer von vier Minuten alle 30 Sekunden die Stromstärke. Die Messergebnisse werden in einem Schaubild festgehalten.

Danach werden die Elektroden aus der Frucht genommen und noch nass für eine Minute in der Luft geschwenkt. Anschließend werden sie in die alten Einstichstellen gesteckt und die Stromstärke wird erneut für eine Dauer von vier Minuten alle 30 Sekunden protokolliert. In einem dritten Schritt werden die Elektroden ent-

nommen, gereinigt und anschließend mit gleichem Abstand in frische Einstichstellen gesteckt. Erneut wird die Stromstärke für einen Dauer von vier Minuten alle 30 Sekunden aufgezeichnet (vgl. Abb. 7).

Im weiteren Unterrichtsgeschehen sollen die Schüler Hypothesen formulieren, wie das Versuchsergebnis zu erklären ist. Weiterhin sollen sie Gleichungen für die Reaktionen formulieren, die an den jeweiligen Elektroden ablaufen.

Erklärung für Zustandekommen von Stromfluss	Schüler der 13. Klasse
Richtige Erklärung	13%
Unterschiedliche Normalpotenziale $\Rightarrow$ Spannungsdifferenz $\Rightarrow$ Elektronen bewegen sich durch Draht von Minus- zu Pluspol	2%
Ionenwanderung	2%
Zn unedler $\Rightarrow$ Konz. der e^- an Anode größer $\Rightarrow$ Elektronenfluss	7%
Wanderung der Elektronen aufgrund unterschiedlicher Potenziale	–
Elektronenwanderung	34%
Elektronen- und Ionenfluss	2%
Zn hat geringeres Normalpotenzial	–
Zitronensäure reagiert mit den Elektroden und bildet Elektronen	2%
Zn ist elektronegativer, zieht Elektronen aus der Säure	–
Zn hat geringeres Normalpotenzial, Elektronen gehen zur Kupferelektrode durch die Zitrone	4%
Redoxreaktion liefert Elektronen	10%
Sonstige, falsche Erklärungen	5%
Keine Erklärung	19%

Tab. 1: Erklärungsansätze über Zustandekommen des Stromflusses

Möglicher Anodenprozess	Schüler der 13. Klasse
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2 e^-$	65%
$Zn^{2+} + 2 e^- \rightarrow Zn$	16%
Sonstiges	15%
Keine Reaktionsgleichung	4%

Tab. 2: Vorstellungen der Befragten über mögliche Anodenprozesse

Möglicher Kathodenprozess	Schüler der 13. Klasse
$O_2 + 2 H_2O + 4 e^- \rightarrow 4 OH^-$	–
$2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2$	12%
$O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 H_2O$	6%
$Cu^{2+} + 2 e^- \rightarrow Cu$	56%
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2 e^-$	13%
Sonstiges	8%
Keine Reaktionsgleichung	5%

Tab. 3: Vorstellungen der Befragten über mögliche Kathodenprozesse

Elektronenfluss	Schüler der 13. Klasse
Elektronenfluss von Anode zu Kathode durch den Draht	71,3%
Elektronenfluss von Kathode zu Anode durch den Draht	6,9%
Elektronenfluss von Anode zu Kathode durch den Elektrolyten	3%
Elektronenfluss von Kathode zu Anode durch den Elektrolyten	–
Elektronen am Kabel, keine Richtung	2%
Sonstiges	4%
Keine Angabe	13%

Tab. 4: Angabe der Befragten zum Elektronenfluss in der Zitronenbatterie

Gechingen
Junge Forscher entdecken Geheimnis der Zitronenbatterie

SchwarzwälderBote, vom 28.07.2011 04:30 Uhr



Wie eine Zitronenbatterie funktioniert, wurde den Grundschulern bei diesem Versuch schnell klar. Foto: Seiter-Gehring Foto: SchwarzwälderBote

Von Annette Seiter-Gehring

Gechingen. Wie funktioniert Strom? Dieser Frage gingen die Schüler der Klasse 4a der Schlehengäuschule gemeinsam mit Schülern der elften Klasse des Technischen Gymnasiums der Johann-Georg-Doertenbach-Schule Calw nach.

Im Rahmen der Projekttag der Schule auf dem Wimberg hatten sich die Schüler mit der Frage beschäftigt, wie naturwissenschaftliche Fragestellungen Grundschulern vermitteln werden können. Dass es dabei nicht mit trockener Theorie getan sein konnte, war schnell klar. Einfache Erklärungen und spannende Versuche mussten gefunden werden, um die Mädchen und Jungen der vierten Klasse in Gechingen für das Thema zu interessieren.

Anhand von sechs elektrotechnischen Experimenten, die von den Gymnasiasten vorbereitet worden waren, erforschten die Grundschüler unter anderem die Geheimnisse der Zitronenbatterie, wie und warum sich ein Luftballon statisch auflädt und einem die Haar zu Berge stehen lässt, wie ein Schaltkreis aufgebaut sein muss, damit das Lämpchen leuchtet oder welche Materialien den Strom leiten und welche nicht.

Eigenes Probieren, kleine Fragebögen, die jedes Experiment wissenschaftlich dokumentierten, und anschauliche Erklärungen durch die älteren Schüler sorgten dafür, dass die Jüngeren sich für die unbekannte Materie begeisterten und neues Wissen aneigneten. Sehr einprägsam war beispielsweise die Erklärung, wie es zu elektrischer Spannung in der Zitrone kommt: Weil die Kinder vom bösen Papa Eisennagel, der seinen Nachwuchs loswerden will, durch den Zitronensaft zum lieben Papa Kupferblech wandern. Alles klar! Oder? Zum Abschluss der Projekttag präsentieren die Schüler ihre Ergebnisse an der Johann-Georg-Doertenbach-Schule.

Abb. 6: Zeitungsartikel als Einstieg

Bei der Interpretation der Messergebnisse sollten die Schüler die Vermutung formulieren, dass der Sauerstoff bzw. die Sauerstoffkorrosion eine entscheidende Rolle bei der Funktionsweise der Zitronenbatterie spielt. Zur Bestätigung hierfür wird das folgende Experiment als Lehrerdemonstrationsexperiment durchgeführt: Die Zitrone als Frucht wird durch eine 0,1-molare Zitronensäurelösung ersetzt. Dann wird die Versuchsanordnung gemäß Abbildung 8 aufgebaut. Erneut wird die Stromstärke gemessen. Die Sauerstoffzufuhr wird variabel aktiviert bzw. deaktiviert und der Einfluss auf die Stromstärke beobachtet (vgl. Abb. 9).

Sobald eine Umspülung der Elektroden mit Sauerstoff stattfindet, steigt die Stromstärke auf ein Vielfaches an, wird sie

unterbrochen, sinkt sie wieder auf das Anfangsniveau zurück.

Sofern die Lehrkraft im Unterricht Zeit hat oder die Einheit im Rahmen einer Experimentier-AG durchgeführt wird, ist auch eine sehr ausführliche fachliche Erarbeitung der Vorgänge bei der Zitronenbatterie möglich. Interessierte Leser informieren sich bei [14]. Die hier vorgestellte Versuchsreihe vermittelt einen spannenden Einblick in das Gebiet elektrochemischer Elemente und die Korrosion von Metallen.

Als Ergebnissicherung sammelt die Lehrkraft die Erkenntnisse der Schüler zur Funktionsweise der Zitronenbatterie und erstellt ein Tafelbild. Dieses übernehmen die Schüler in ihr Heft (vgl. Abb. 10). Als Gesamtgleichung für die Funktionsweise

der Zitronenbatterie kann eine Gleichung gemäß (e) festgehalten werden.

$$2\text{Zn(s)} + \text{O}_2\text{(aq)} + 4\text{H}^+\text{(aq)} \rightarrow 2\text{Zn}^{2+}\text{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \tag{e}$$

Nun folgt die Phase der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den Schülervorstellungen. Da die Frage nach Plus- und Minuspol noch nicht geklärt ist, setzen sich die Schüler in Einzelarbeit mit einer Schüleräußerung über die Entstehung von Plus- und Minuspol bei der Zitronenbatte-

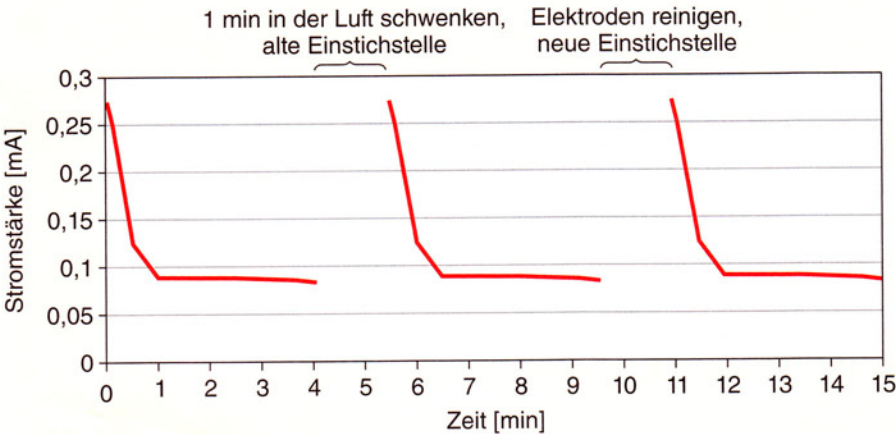


Abb. 7: Exemplarischer Verlauf der Stromstärke bei einer Messung

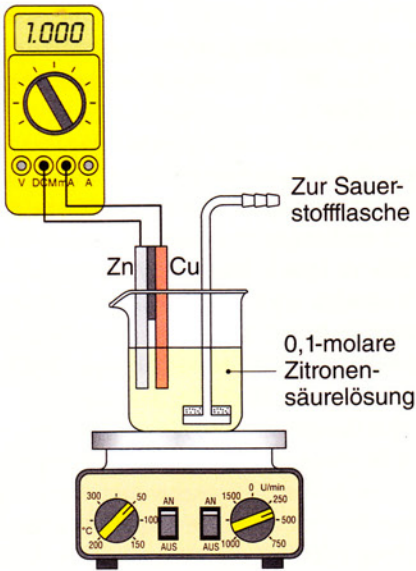


Abb. 8: Versuchsaufbau zum Versuch Die Zitronenbatterie mit Sauerstoffumspülung

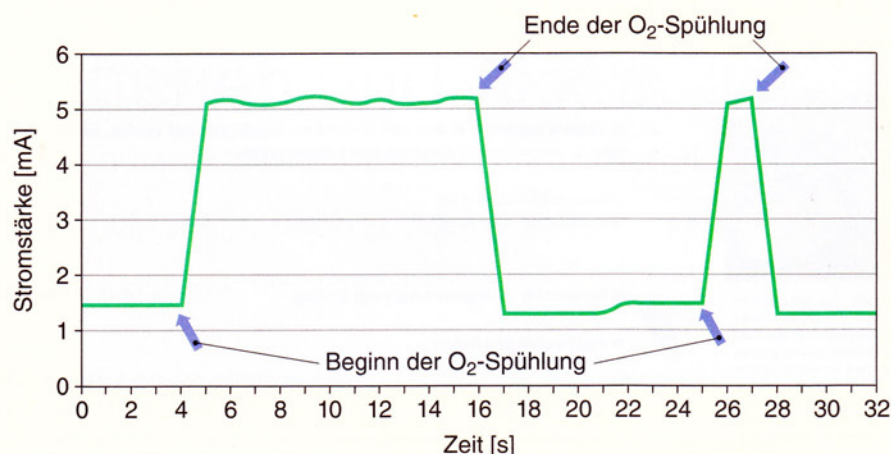


Abb. 9: Exemplarischer Verlauf einer Stromstärkemessung, Anstieg der Stromstärke bei Sauerstoffzufuhr

rie auseinander. Dies ist gewissermaßen eine Wiederholung, da diese Thematik bei der Erarbeitung elektrochemischer Prozesse im Unterricht bereits besprochen wurde. Für die Schüler, die dennoch Probleme mit der Aufgabe haben, steht eine Hilfestation zur Verfügung. In einer zweiten Erarbeitungsphase gehen die Schüler in insgesamt vier Gruppen zusammen und beschäftigen sich intensiv mit Modellen, Vorstellungen und Erklärungsansätzen zur Zitronenbatterie. Jede Gruppe beschäftigt sich dabei mit einer Station und bereitet aus den Ergebnissen einen Beitrag für ein Expertengespräch vor.

Station 1 Elektronenfluss im Elektrolyten

Es wird die Fehlvorstellung präsentiert, dass die Elektronen durch den Saft der Zi-

trone von der Zink- zur Kupferelektrode wandern. Die Schüler sollen zuerst Stellung zu der Aussage im Text beziehen. Dann sollen sie mit einem Modellspiel (vgl. Abb. 11) die Aussage im Text nachspielen und so zu der Erkenntnis gelangen, dass die Aussage nicht richtig sein kann. In einem dritten Schritt erfolgt eine Stellungnahme zu den Aspekten Verbraucher und Wasserstoffentwicklung (zwei wesentliche Aspekte, die im Modellspiel erkenntlich werden) sowie eine erneute Stellungnahme zu der Aussage der Station (vgl. Abb. 12).

Station 2 Herkunft der Elektronen

Hier wird als Erklärungsansatz formuliert, dass die Elektronen aus dem Saft der Zitrone herausgezogen werden, durch das Verbinden der Pole ein chemischer Prozess angeregt wird und die Elektronen von der Zink- zur Kupferelektrode fließen. Wieder erfolgt eine Bearbeitung der Station in dem bereits bei Station 1 erwähnten Dreischritt.

Station 3 Elektronenfluss und Verbraucher

Hier sollen sich die Schüler mit der Behauptung, dass bei der Reaktion in der Zitronenbatterie Elektronen entstehen, diese durch den Draht zum Motor wandern und ihn so antreiben und dabei verbraucht werden, auseinandersetzen. Die Bearbeitung erfolgt in dem bereits oben erwähnten Dreischritt.

Station 4 Ablaufende Reaktionen an den Elektroden

Hier wird ein Vergleich zwischen der Zitronenbatterie und dem Daniell-Element

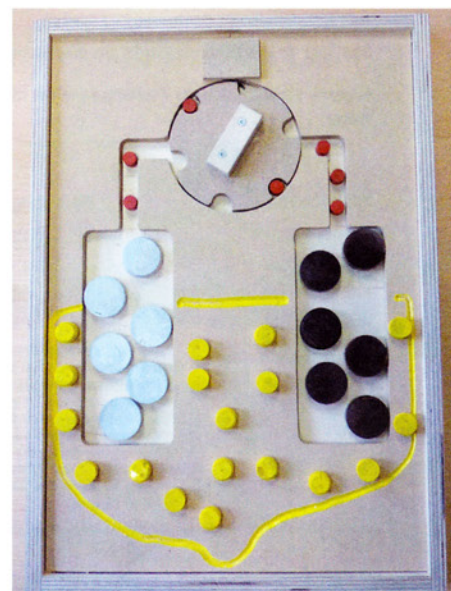


Abb. 11: Modellspiel zur Zitronenbatterie

gezogen. Dabei wird formuliert, dass an der Kathode Kupferionen als elementares Kupfer abgeschieden werden. In einem ersten Schritt sollen die Schüler Stellung zu der Aussage nehmen. In einem zweiten Schritt führen die Schüler ein Widerlegungsexperiment durch, bei dem die Zitronenbatterie mit einer Graphit- anstelle einer Kupferelektrode betrieben wird. In einem dritten Schritt erfolgt eine erneute Stellungnahme zu der Aussage an der Station.

Expertengespräch

Im Anschluss an diese Gruppenarbeitsphase setzen sich die Schüler zu Expertenteams zusammen, so dass in jeder Expertenrunde mindestens ein Vertreter der Stationen 1 bis 4 vorzufinden ist. Innerhalb dieser Expertenrunde werden nun die einzelnen Stationen und die Ergebnisse vorgestellt und miteinander diskutiert. Die Schüler erfahren so auch die thematischen Inhalte der Stationen, die nicht von ihnen selbst bearbeitet wurden und erkennen die Bandbreite an Fehlvorstellungen zu dem Thema.

Im Rahmen einer methodisch zeitintensiveren Variante können die Stationen auch als Lernzirkel aufgebaut werden, so dass jeder Schüler sich selbst mit jeder Stationen beschäftigen kann.

7 Zusammenfassung

Die im Rahmen des an Schülervorstellungen orientierten Unterrichtsverfahrens vorgestellte Unterrichtssequenz ist geeignet, um nach der Erarbeitung elektrochemischer Prozesse im Unterricht einen Transfer zu den chemischen Vorgängen bei der Zitronenbatterie zu ziehen. Dieses

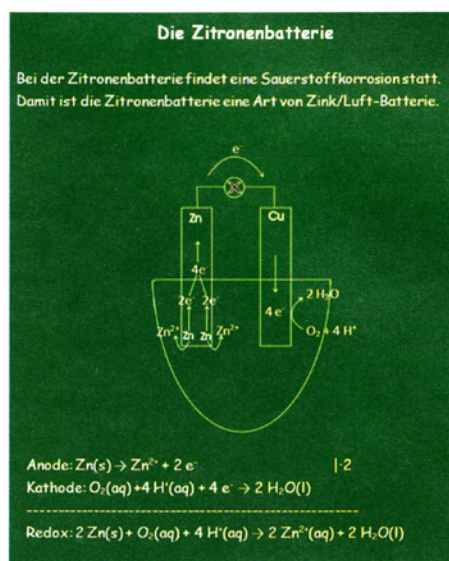


Abb. 10: Tafelbild zur fachlichen Klärung der Prozesse bei der Zitronenbatterie

Station 1: Elektronenfluss im Elektrolyten

Folgende Erklärung über die Funktionsweise der Zitronenbatterie ist im Internet zu finden:



Strom aus der Zitrone



Erklärung: Die unterschiedlichen Metalle von Büroklammer (Kupfer) und Nagel (Zink) dienen als Plus- und Minuspol einer Batterie. Sobald die beiden miteinander verbunden werden, wird im Inneren der Zitrone ein chemischer Prozess in Gang gesetzt. Weil Zinkatome ihre Elektronen weniger fest an sich binden als Kupferatome, gibt der Nagel Elektronen an das Kupfer ab. Die Elektronen wandern durch den Saft der Zitrone hindurch zur Büroklammer. Diese Wanderung der Elektronen ist nichts anderes als Strom. Das Experiment funktioniert übrigens auch mit einer Kartoffel.

Quelle: <http://www.rwe-schulforum.de/index.php/kinder-experimente-zitrone.html> (verändert)

Arbeitsauftrag

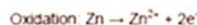
- 1) Lesen Sie den obigen Text aufmerksam durch. Nehmen Sie zum Elektronenfluss Stellung.

2) Spielen Sie das Modellspiel

Legen Sie 10 Zinkatom-Spielchips in die linke Aussparung im Modell und 10 Kupferatom-Spielchips in die rechte. Verteilen Sie 10 H⁺-Spielchips in der Zitrone.

Stellen Sie die Reaktionsgleichungen, die bei der Zitronenbatterie ablaufen, dar. Spielen Sie dafür den oben beschriebenen Weg der Elektronen am Modell durch Atom-Spielchips werden durch Umdrehen in die entsprechenden Ionen gewandelt.

H₂-Molekül entstehen, in dem zwei H⁺-Teilchen zusammengelegt werden. Elektronen müssen entsprechend zugegeben oder entfernt werden.



3) Nehmen Sie zu folgenden Aspekten Stellung

- ❖ Verbraucher (Musikchip):

- ❖ Wasserstoffentwicklung:

4) Lesen Sie noch einmal Ihre zu Beginn formulierte Stellungnahme zum Elektronenfluss durch und kommentieren Sie diese.

Abb. 12: Arbeitsblatt der Station 1

Experiment wird häufig aufgrund des großen Motivationspotentials vorgeführt, die Erklärungen zur Funktionsweise der Zitronenbatterie bereiten allerdings oftmals Probleme. Diese Fehlvorstellungen sollen im Unterricht bewusst aufgegriffen werden, um durch eine Konfrontation mit ihnen bei den Schülern zu einer Festigung der naturwissenschaftlich korrekten Erklärung zu führen.

Die Unterrichtseinheit wurde bereits erfolgreich in der Praxis erprobt. Wer Interesse hat, die Sequenz im Unterricht einzusetzen, kann sich an die Autoren wenden und bekommt sämtliche Materialien (Arbeitsblätter, Tafelbild, Zeitungsartikel, Bastelanleitung zum Modellspiel, ...) zugesandt.

Dank

Wir danken dem Fonds der Chemischen Industrie recht herzlich für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Literatur

- [1] K. Petermann, J. Friedrich, M. Oetken, „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“. Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaft-

lichen Unterricht. CHEMKON 15, 3, S. 110–118 (2008)

- [2] R. Duit, STCSE – Students' and Teachers' Conceptions and Science Education (2009). www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html, Zugriffsdatum: 29. 10. 2009

- [3] A. Marohn, Mehrfachwahlaufgaben als Instrument zur Erforschung von Schülervorstellungen. Chimica didactica 29, 91, S. 38–51 (2003)

- [4] J. K. Gilbert, R. Justi, J. H. van Driel, O. de Jong, D. F. Treagust, Securing a future of chemical education. Chemistry Education: Research and practice 5, 1, S. 5–14 (2004)

- [5] www.wdr.de/tv/wissenmachtah/bibliothek/zitronenbatterie.php5 (Zugriffsdatum 10. 11. 2012)

- [6] H. Keune, H. Böhland (Hrsg.), Chemische Schulexperimente: eine Anleitung für Lehrerinnen und Lehrer in drei Bänden. Band 3. Volk und Wissen, Berlin 2002

- [7] G. L. Gilbert, A Lemon-Powered Clock. J. Chem. Ed. 69, 2, S. 157–158 (1992)

- [8] J. Goodisman, Observations on Lemon Cells. J. Chem. Ed. 78, 4, S. 516–518 (2001)

- [9] W. Glöckner, W. Jansen, R. G. Weisshorn (Hrsg.), Handbuch der experimentellen Chemie. Sekundarstufe II. Band 6: Elektrochemie. Aulis Deubner, Köln 1994

- [10] dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/elmag/cytryna-da.html (Zugriffsdatum 31. 01. 2011)

- [11] P. B. Kelter, J. D. Carr, T. Johnson, The Chemical and Educational Appeal of the Orange Juice Clock. J. Chem. Ed. 73, 12, S. 1123–1127 (1996)

- [12] www.rwe-schulforum.de/index.php/kinder-experimente-zitrone.html (Zugriffsdatum 31. 01. 2011)

- [13] www.tivi.de/fernsehen/loewenzahn/artikel/30050/index.html (Zugriffsdatum 31. 01. 2011)

- [14] R. Peper-Bienzeisler, C. Pöhls, L. Bröll, W. Jansen, Untersuchungen zur Zitronenbatterie. Zur Veröffentlichung eingereicht und angenommen in CHEMKON

- [15] www.schwarzwaelder-bote.de/inhalt.gehingen-junge-forscher-entdecken-geheimnis-der-zitronenbatterie.514df362-9285-4b1a-b285-ed893badf507.html (Zugriffsdatum 13. 09. 2012)

Anschrift der Verfasser

Dr. Leena Bröll, Prof. Dr. Jens Friedrich, Prof. Dr. Marco Oetken, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg, E-Mail: broell@ph-freiburg.de